

# **MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

## **UUDEN SUKUPOLVEN TAISTELUKONEIDEN SUORITUSKYKY JA KEHITYS- NÄKYMÄT**

Pro gradu-tutkielma

Kadetti  
Jani Heikkinen

Kadettikurssi 92  
Ilmasotalinja

Maaliskuu 2009

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 92	Linja Ilmasotalinja	
Tekijä Kadetti Jani Heikkinen		
Tutkielma Uuden sukupolven taistelukoneiden suorituskyky ja kehitysnäkymät		
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)	
Aika Maaliskuu 2009	Tekstisivuja 72	Liitesivuja 19
<b>TIIVISTELMÄ</b> <p>Tutkielma käsittelee uuden sukupolven taistelukoneita, niiden suorituskykyä ja kehitysnäkymiä. Tutkimus kohdentuu uusimpien sukupolvien kiinteäsiipisiin ilma-aluksiin. Kiinteäsiipisellä ilma-aluksella tarkoitetaan monitoimihävittäjää, joka edustaa sotilasilmailun kehittyintä teknologiaa. Kohdevaltioina tutkielmassa on Venäjä ja Yhdysvallat.</p> <p>Tämä tutkielma on luonteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Tutkielmassa käytetään tiedonkeruumenetelmänä asiakirja- ja tekstianalyysia.</p> <p>Tutkimusongelmana ja tavoitteena on selvittää mitkä ovat uuden sukupolven taistelukoneiden kehityksen suuntaviivat. Tutkimusongelman tueksi on asetettu alakysymyksiä, joiden avulla pyritään helpottamaan varsinaisen tutkimusongelman selvittelyä ja käsittelyä.</p> <p>Alatutkimusongelmat:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Minkälainen on uuden sukupolven monitoimihävittäjä?</li><li>- Mikä on kohdevaltioiden hävittäjäsuunnittelun tämän hetkinen tila?</li><li>- Millä tavalla kohdevaltioiden konekalusto eroaa toisistaan?</li></ul> <p>Tutkimusaineistona on käytetty mielipidekirjoituksia, asiantuntijalähteitä, eri toimijoiden sotilasaikakausjulkaisuja ja eri yhteisöjen internet-sivustoja.</p> <p>Tutkielmassa on määritetty kohdevaltioiden tulevaisuuden kehitystrendejä. Yhdysvaltain sotakoneistolla on käytössään ainoa uuden sukupolven monitoimihävittäjä F-22A Raptor. Lisäksi testi- ja koelentovaihetta läpikäyvä F-35 Lightning II saataneen operatiiviseen käyttöön vuonna 2012. Yhdysvallat onkin asettamassa tavoitteita seuraavan sukupolven ilma-</p>		

alukselle, joka nykyisten suuntaviivojen mukaisesti on todennäköisesti miehittämätön.

Yhdysvaltojen suunnatessa katsetaan jo seuraavan sukupolven ilma-alukseen kehittää Venäjä omaa uuden sukupolven monitoimihävittäjää tavoitteena sen tuotannon aloittaminen aikaisintaan vuonna 2015. Venäjän sotilasilmailun uusimmat modernisoinnit toimivat testialustoina uuden sukupolven monitoimihävittäjälle. Lisäksi niillä on tarkoitus täyttää vanhan kaluston ja uuden sukupolven monitoimihävittäjän väliin jäävä aukko. Venäjän sotilasilmailuteollisuuden tulevaisuus riippuu suuresti uuden sukupolven monitoimihävittäjästä. Mikäli se operatiiviseen käyttöön tullessa pystyy täyttämään sille asetetut vaatimukset pystyy Venäjän sotilasilmailu mahdollisesti siirtämään katsetaan kohti seuraavaa hävittäjäsuukupolvea.

**AVAINSANAT:**

sotilaslentokone, sensorit, sotilasilmailu, hävittäjä, häivetekniikka, GPS

# UUDEN SUKUPOLVEN TAISTELUKONEIDEN SUORITUSKYKY JA KEHITYS- NÄKYMÄT

<b>1. JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2. TULEVAISUUDEN KEHITYSTRENDIEN SELVITTÄMINEN</b>	<b>3</b>
<b>3. UUDEN SUKUPOLVEN TAISTELUKONEIDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ</b>	<b>4</b>
3.1 Ilma-aseen rooli sodissa vuosina 1990–2000	5
3.2 Tulevaisuuden näkymiä	7
3.3 Hävittäjäkaluston luokittelu	10
3.3.1 Venäjän modernisoidut hävittäjät	10
3.3.2 Uuden sukupolven monitoimihävittäjät	11
<b>4. YHDYSVALTALAINEN KALUSTO</b>	<b>13</b>
4.1 F-22A Raptor	13
4.1.1 Kehityshistoria	13
4.1.2 Ominaisuudet	14
4.1.3 Vertailu edeltäviin konetyyppeihin	16
4.1.4 Koonnos	18
4.2 F-35 Lightning II Joint Strike Fighter	20
4.2.1 Kehityshistoria	20
4.2.2 Ominaisuudet	21
4.2.4 Koonnos	26
<b>5. VENÄLÄINEN KALUSTO</b>	<b>28</b>
5.1 Venäjän uuden sukupolven hävittäjäprojekti	28
5.1.2 Ominaisuudet	30
5.2 Su-27SM ja Su-35	31
5.2.1 Kehityshistoria	32
5.2.2 Ominaisuudet	33
5.3 MiG-35	37
5.3.1 Kehityshistoria	37
5.3.2 Ominaisuudet	38
5.4 Koonnos	42
<b>6. YHDYSVALTALAISEN JA VENÄLÄISEN KALUSTON VERTAILU</b>	<b>43</b>
6.1 Häiveteknologia	43
6.2 Kustannukset	47
6.3 Asejärjestelmät	49
6.3.1 Ilmasta-ilmaan ohjukset	50

6.3.2 Ilmasta-maahan aseet	52
6.4 Tekninen vertailu	55
6.4.1 Lentonopeus	56
6.4.2 Lentoonlähtöpaino ja hyötykuorma	56
6.4.3 Toimintamatka	57
6.4.4 Työntövoima ja teho-painosuhde	58
6.5 Täyttääkö monitoimihävittäjät niille asetetut vaatimukset?	59
6.5.1 Yhdysvaltalainen kalusto	59
6.5.2 Venäläinen kalusto	64
<b>7. TULOKSET</b>	<b>67</b>
<b>8. JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>70</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>73</b>
<b>LIITTEET</b>	<b>80</b>

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

### KUVAT:

- Kuva 1: F-22A Raptorin sisäinen asekuilu.
- Kuva 2: F-22:n toimintakenttä.
- Kuva 3: F-35:n ohjaamo.
- Kuva 4: F-35:n toimintakenttä.
- Kuva 5: Tutkapoikkipinta-alaan vaikuttavia tekijöitä.
- Kuva 6: Venäläinen lähestymistapaa häiveteknologian sovelluksiin.
- Kuva 7: Tutkalähetteen käyttäytyminen W-kuvioinnissa.
- Kuva 8: F-22A Raptorin moottorin muotoilu.
- Kuva 9: F-35:n häivemuotoilua.

### TAULUKOT:

- Taulukko 1: F-22A Raptorin ja F-15:n aseistus ja niiden vertailu.
- Taulukko 2: Joint Strike Fighter -ohjelman osallistujamaat, suunnitellut konemäärät ja arvioitu palvelukseenottovuosi.
- Taulukko 3: F-35 Lightning II:n ja F-16 Fighting Falconin aseistus ja niiden vertailu.
- Taulukko 4: Kohdevaltioiden monitoimihävittäjien hintavertailu.
- Taulukko 5: Kohdevaltioiden uuden sukupolven hävittäjähankkeiden kokonaiskustannukset.
- Taulukko 6: Kohdevaltioiden lyhyen kantaman ilmataisteluohjusten kantamat.
- Taulukko 7: Kohdevaltioiden pitkän kantaman ilmataisteluohjusten kantamat.
- Taulukko 8: Kohdevaltioiden ohjattavat pommit, niiden todennäköinen osumistarkkuus (CEP) ja läpäisykyky.
- Taulukko 9: Monitoimihävittäjien suurimmat lentonopeudet korkealla lennettäessä.
- Taulukko 10: Monitoimihävittäjien suurin lentoonlähtöpaino.
- Taulukko 11: Monitoimihävittäjien toimintamatka kilometreissä sisäisellä polttoaineella.
- Taulukko 12: Monitoimihävittäjien moottoreiden tuottama työntövoima.

# UUDEN SUKUPOLVEN TAISTELUKONEIDEN SUORITUSKYKY JA KEHITYSNÄKYMÄT

## 1. JOHDANTO

Tutkimuksen aihealueena ovat uusimpien sukupolvien taistelukoneet ja niiden kehityspiirteet ja teknologia. Kehittyvä taistelu ympäristö ja sotakäsite asettavat vaatimuksia tulevaisuuden taistelukoneille. Nämä ilmiöt vaikuttavat myös sotakoneiston suunnitteluun ja niiltä vaadittaviin ominaisuuksiin. Nykyisissä sotilasilmailun kehitysprojekteissa suurvaltojen suuntaus on selvästi painottunut monitoimihävittäjiin, jotka monipuolisuutensa myötä pystyvät toimimaan laajemmassa toimintaympäristössä ja korvaavat vanhempien konemallien lisäksi myös rynnäkkö- ja pommikoneita [95].

Tutkimus kohdentuu uusimpien sukupolvien kiinteäsiipisiin ilma-aluksiin. Uuden sukupolven hävittäjät on tutkielmassa määritelty monitoimihävittäjiksi, jotka edustavat kehittyneintä hävittäjäteknologiaa. Tutkielman uuden sukupolven hävittäjät ovat juuri saatettu operatiiviseen käyttöön tai ne ovat tulossa käyttöön lähitulevaisuudessa. Kohdevaltioiksi on rajattu Yhdysvallat ja Venäjä. Yhdysvallat on ainoa valtio, jolla on käytössään uuden sukupolven monitoimihävittäjä. Venäjä on toinen valtio, joka edes puhuu uuden sukupolven hävittäjän kehittämisestä. Tutkimuksessa perehdytään kohdevaltioiden modernisoituihin koneisiin sekä uusinta teknologiaa ja hävittäjäsuunnittelua edustavaan kalustoon ja selvitetään niiden ominaispiirteet. Tällä hetkellä tuoreimmat hävittäjät ovat yhdysvaltalaisia, mutta venäläinen sotilasilmailuteollisuus on viime aikoina kehittänyt kilpailukykyisiä tuotteita. Eri valtioilla on käynnissä monen tasoisia ja asteisia kehitysprojekteja, jolloin esimerkiksi kohdevaltioiden hävittäjäprojektien todellista tilaa on vaikea arvioida.

Venäjän ilmavoimat kärsi 1990-luvulla suurista taloudellisista ongelmista. Ilmapuolustuksen ja ilmavoimien yhdistäminen vuonna 1998 merkitsi valtavan kalusto- ja henkilöstövarannon suurta vähentämistä. Tätä nykyä ilmavoimien ja ilmapuolustuksen vahvuuteen kuuluu noin 2050 kiinteäsiipistä taistelukonetta [16, 97].

Koko ajan paraneva rahoitustilanne vahvistaa oleellisesti myös Venäjän aseellisuutta. Sotilaskoneilla on merkittävä osuus Venäjän aseviennistä ja vientituotannon yhteishankkeista esimerkiksi Intian kanssa antaa vetoapua oman lentokaluston kehittäelytyöhön. Valtaosa Venäjän konekalustosta on ollut käytössä jo vuosikymmeniä. 6. Ilma- ja Ilmapuolustusarmeijan komentaja kenraalileversti Vladimir Sviridovin mukaan kulutuksen ja käytön vuoksi lentokoneiden taistelukunnon ylläpito tulee vuosittain yhä vaikeammaksi, koska varaosien saanti on hankalaa [46]. Pitkän aikavälin suunnitelmissa on lähdetty siitä, että ilmavoimien hankkeiden painopiste on tämän vuosikymmenen ajan tutkimuksessa ja valittujen kalustotyyppien modernisoinnissa. Tehtyjen arvioiden mukaan yhden uuden koneen hinnalla voidaan modernisoida noin kolmekymmentä hävittäjää [45]. Venäjän ilmavoimien komentajan Alexander Zelinin mukaan rahoituksen kärjessä ovat muun muassa Su-34, Su-39 ja Su-27SM. Zelin ilmoitti syksyllä 2007, että uuden sukupolven hävittäjän kehitystyö on suoritettu ja sen sarjatuotanto aloitetaan lähitulevaisuudessa. Aikaisemmin Venäjän federaation ensimmäinen varapääministeri Sergei Ivanov ilmoitti, että Venäjän kehittämä uusi monitoimihävittäjä tulee lentämään vuoden 2008 loppuun mennessä [90].

Uuden sukupolven monitoimihävittäjän tuotannosta vastaa venäläinen lentokonetuotantoyhtiö KnAAPO (Komsomolsk-on-Amur Aviation Production Association). Projekti kantaa työnimeä PAK-FA. Monitoimihävittäjän ensilennosta ja tuotannon aloittamisesta on esitetty useita arvioita. Tuoreimman tiedon mukaan Venäjän ilmavoimat tulee saamaan uuden koneen prototyypin elokuussa 2009 [106]. Alexander Zelinin mukaan samalla tullaan suorittamaan myös konetyypin ensilento. KnAAPO-yhtiön on todettu valmistavan kolme prototyyppiä testilentoihin varten, jotka kestävät viidestä kuuteen vuotta. Konetyypin sarjatuotanto tultaneen aloittamaan aikaisintaan vuonna 2015. Tietojen mukaan uuden sukupolven hävittäjä kykenee yllääniseen lentonopeuteen ilman jälkipoltinta (supercruise-kyky) ja sen aseistus tullaan sijoittamaan sisäisiin asekuiluihin. Lisäksi sen havaitseminen tutka- ja infrapuna-alueilla on aikaisempia venäläisiä hävittäjiä vaikeampaa [85]. Tutkielmassa esiintyvät lyhenteet on esitetty liitteessä 1.

Yhdysvaltojen ilmavoimien (United States Air Force) aktiivisessa palvelukäytössä on yli kuusi tuhatta miehitettyä lentokonetta ja lisäksi 160 vielä kokeiluasteella olevaa miehittämätöntä taisteluilma-alusta (Unmanned Combat Air Vehicle). Yhdysvaltojen ilmavoimien budjetti vuodelle 2008 on 134,6 miljardia yhdysvaltain dollaria (noin 87 miljardia euroa). Vuoden 2009 budjettiin on pyydetty 6,9 prosentin korotusta, jolloin summa nousee 143,9 miljardiin dollariin [23]. Koko Venäjän puolustusbudjetti vuodelle 2008 on Yhdysvaltain mittapuussa



vaivaiset 40 miljardia Yhdysvaltain dollaria. Vuoden 2007 puolustusbudjettiin verrattuna nousua on tapahtunut kuitenkin 20 prosenttia [86].

Yhdysvaltojen ilmavoimien viisi tärkeintä projektia vuonna 2009 ovat uuden KC-X ilmatankkauskoneen sopimuksen julkaisu, uusi combat search-and-rescue helikopteri, avaruusjärjestelmät, F-35A Lightning II ja uusi pommikone. Tosin useisiin tärkeisiin projekteihin ei ole varattu rahoitusta. Tällaisia projekteja ovat muun muassa Joint Strike Fighterin (JSF) vaihtoehdoisen moottorin kehitystyö sekä seuraavan sukupolven pommikoneen kehitystyö [106].

Maailman teknologisoituneimman ilmavoimien käytössä on ainoa uuden sukupolven hävittäjä F-22A Raptor, joka tuli palveluskäyttöön joulukuussa 2005. Lisäksi kehityksessä on monikansallinen F-35 Lightning II, joka on vielä tällä hetkellä testausvaiheessa. Ilmavoimien vuotuisesta budjetista lentokoneiden hankintaan vuodelle 2008 on varattu 11,9 miljardia dollaria ja vuoden 2009 budjetista lentokonehankintoihin toivotaan 12,7 miljardin dollarin osuutta [106].

## **2. TULEVAISUUDEN KEHITYSTRENDIEN SELVITTÄMINEN**

Tutkimuksessa on tarkoitus selvittää kohdevaltioiden konekaluston tämänhetkinen tila. Yhtenä lähtökohtana tutkimuksessa on vanha neuvostoaikainen suunnittelu- ja tuotantofilosofia, johon on otettu kantaa aihepiirin kohdistuvissa aikaisemmissa tutkimuksissa [82]. Filosofia tunnetaan myös peilipolitiikkana, joka vaikuttaa kohdevaltioiden kehittämän taisteluvälineen myötä sotavoiman doktriiniin. Tämä heijastuu myös kohdevaltioiden väliseen kilpavarusteluun.

Tutkimusongelmana ja tavoitteena on selvittää mitkä ovat uuden sukupolven taistelukoneiden kehityksen suuntaviivat. Tutkimusongelman tueksi on asetettu alakysymyksiä, joiden avulla pyritään helpottamaan varsinaisen tutkimusongelman selvittelyä ja käsittelyä.

Alatutkimusongelmat:

- Minkälainen on uuden sukupolven monitoimihävittäjä?
- Mikä on kohdevaltioiden hävittäjäsuunnittelun tämän hetkinen tila?
- Millä tavalla kohdevaltioiden konekalusto eroaa toisistaan?

Tutkimus on tarkoitus suorittaa kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena. Tutkimuksessa käytetään tiedonkeruumenetelmänä asiakirja- ja tekstianalyysia.

Aineistona tutkielmassa on käytetty eri toimijoiden julkaisemia sotilasaikakausilehtiä, internet-sivustoja sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Aineiston analysointi on esitetty liitteessä 2.

Maanpuolustuskorkeakoulussa on tutkittu Venäjän ja Yhdysvaltojen hävittäjähankkeita ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Venäjän ja Yhdysvaltojen uusimpien sukupolvien konekalustoa on tutkittu eriasteisissa opinnäytetöissä [54, 59, 82]. Lisäksi Venäjän konekaluston suunnitteluun ja kehittelyyn liittyviä ilmiöitä sekä Venäjän ja Yhdysvaltojen sotilasilmaluteollisuutta on tutkittu useasti [55, 62]. Aikaisempien tutkimustöiden laajempi analysointi on esitetty liitteessä 3.

Tutkimuksessa perehdytään kohdevaltioiden konekalustolle asetettuihin vaatimuksiin ja käyttötarkoituksiin. Tulevan sukupolven konekaluston moniulotteista vertailua suoritetaan kohdevaltioiden kesken. Lisäksi tutkimuksessa verrataan keskenään vanhoja ja uusia konemalleja kohdevaltioiden sisällä. Tällä menettelyllä pyritään löytämään kehityksen suunta tulevaisuudessa. Vertailulla pystytään lisäksi luomaan kuva uusimman konesukupolven ominaisuuksista ja kyvystä aikaisempiin konemalleihin verrattuna.

### **3. UUDEN SUKUPOLVEN TAISTELUKONEIDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ**

Ilmasota on ilmassa tai ilmoitse tapahtuvaa toimintaa, johon sisältyvät varsinainen taistelu, yksiköiden siirrot ja ryhmittäminen, sekä kokonaisuuteen liittyvä toiminnan johtaminen ja tukeminen. Ilmasodan ympäristönä on ilmatila ja avaruus, joiden erityispiirteenä on kolmiulotteisuus. Ilmatilaa hyväksikäyttäen on mahdollista päästä minne tahansa maapallolla toimintasäteen ja tukeutumisedellytysten puitteissa [82].

Ilmasodankäynnin tärkein tavoite on saada riittävä ilmatilan hallinnan aste ja lopullisena tavoitteena on täydellinen ilmaherruus, joka on mahdollinen vasta, kun vastustaja ei kykene tehokkaaseen vastarintaan ilmassa. Ilmaherruudella tarkoitetaan oman ilmatoiminnan toimintavapautta, oman tukialueen turvaa vihollisen ilmahyökkäyksiltä sekä maa- ja merivoimien toimintavapautta. Ilmaherruus vähentää vastustajan mahdollisuuksia saavuttaa tavoitteitaan sodassa [82].

### 3.1 Ilma-aseen rooli sodissa vuosina 1990–2000

Viime aikaisissa sodissa ilmavoimien käyttö ja merkitys ovat nousseet suureen rooliin. Ilmavoimia on käytetty vaikutuksiin perustuvaan sodankäyntiin (Effects Based Operations), jossa pyritään toteuttamaan operaatioita ennalta määrättyihin vastustajan kohteisiin tavoitteena saattaa vihollinen toimintakyvyttömäksi. Persianlahden ilmasodan ensimmäinen yö oli vaikutuksiin perustuvan sodankäynnin ensimmäinen täysimittainen sovellus. Tavoitteena oli saattaa vastustajan kokonaiset järjestelmät toimintakyvyttömiksi minimivaikutuksella solmukohtiin. Samankaltaisia iskuja olisi haluttu toteuttaa jo aikaisemmissakin sodissa, mutta se ei ollut mahdollista johtuen muun muassa vastustajan ilmapuolustuksesta, epätarkoista aseista ja kehittymättömästä teknologiasta. Häivetekniikka ja täsmäaseet toivat muutoksen Persianlahden sotaan, poistaen tarpeen keskittää suuria konelauttoja maaleja vastaan [50].

Entinen Yhdysvaltojen ilmavoimien eversti Dennis M. Drew kirjoitti artikkelissaan, että Persianlahden sota symbolisoi sekä perustavaa laatua olevaa muutosta tulevaisuuden sodankäyntitavoissa että tarvetta uudenaikaiseen ajatteluun sotilaallisissa operaatioissa. Artikkelissaan Drew korostaa ilmavoimien ottaneen dominoivan roolin nykypäivän sodankäynnissä [26].

NATO:n operaatio Allied Force Serbiaa vastaan vuonna 1999 kesti 78 vuorokautta. NATO oli suunnitellut etukäteen ainoastaan kolmen vuorokauden lentosuoritukset ja nekin pienellä konemäärällä 19 maan poliittisten johtajien yhteisesti hyväksymiin 51 maaliin. Operaatiota hidassti huono sää ja koneiden vähyys. Lopulta konemäärän kaksinkertaistaminen ja maalikategorioiden lisääminen pakotti serbit antautumaan [50].

Vuonna 2003 alkaneessa toisessa Irakin sodassa hyödynnettiin aiemmista sodista koottuja oppeja. Yksittäisiä kohteita tuhottiin häiveteknologiaa edustavilla koneilla, jolloin omien joukkojen tappiot pysyivät pieninä. Kehitettävää löytyi muun muassa teknologiasta ja omatunnistemenetelmistä. Täsmäpommituksista saatuihin kokemuksiin pohjautuen Yhdysvaltojen ilmavoimat aloitti nopeasti nykyistä pienempien pommien kehittämisen. Nykyaikana pommien tarkkuus ei enää edellytä suuria räjähdysainemääriä, koska pommit kyetään ohjaamaan tarkasti haluttuihin kohteisiin ja tekemään ne toimintakyvyttömiksi. Pienemmät pommit helpottavat logistiikkaketjua ja mahdollistavat nykyistä useampia kohteita vastaan hyökkäämisen samalla lennolla [50].

Persianlahden sota ja sen jälkeiset konfliktit osoittavat, että ilmavoimien strateginen merkitys on noussut merkittäväksi tekijäksi. Tämän kehityksen ovat mahdollistaneet häiveteknologian

käyttö, yhä tarkemmat asejärjestelmät sekä taistelukentältä saatavan informaation käytettävyyden ja hyväksikäyttö [57]. Vuonna 2003 alkaneessa toisessa Irakin sodassa Yhdysvaltojen ja sen liittouman joukoilla oli valtava kyky tiedustella, valvoa sekä hallita tilannetta ja informaatiota. Joukoilla oli käytössään tiedustelulennokit, satelliitit, maalinosoitukseen kykenevät erikoisjoukot maassa sekä lentäjien visuaalihavainnot. Tämä toi sodankäyntiin uuden elementin. Ensimmäistä kertaa sotaa pystyttiin johtamaan eri sensorien tuottaman tilannekuvan perusteella. Uuden sukupolven teknologian suunnittelussa tilannetietoisuus onkin noussut suureen rooliin.

Persianlahden sodasta alkaneen kehityksen vaikutukset ovat näkyvissä myös Venäjällä. Venäjän ilmavoimat vakuuttuivat, että sen aikaisemmin omaksuma doktriini ja taktiikka vaativat uudelleenajattelua. Ilmavoimien rakennetta ja organisaatiota ryhdyttiin mukauttamaan uuden sodankäynnin vaatimusten mukaisesti ottaen huomioon uuden geopolitiittisen tilanteen, joka syntyi kylmän sodan päättyttyä [58].

Venäjä pääsi kokeilemaan edellä mainittuja uusia ilmasotaoppeja Tsetseniassa vuodesta 1994 alkaen. Tosin hyvin nopeasti pystyttiin toteamaan, että toimintaympäristön erilaisuus Irakiin nähden ei mahdollistanut liittoutuneiden saavuttamaa menestystä. Toimintaympäristöstä Tsetseniassa puuttuivat merkittävät sotilaalliset kohteet, maasto oli vuoristoista eikä selkeää rintamalinjaa ollut. Nämä seikat yhdessä Venäjän ilmavoimien heikon sää- ja pimeätoimintakyvyn sekä vastustajan käytössä olevien olkapääohjusten kanssa johtivat heikompaan lopputulokseen Irakin operaation menestykseen verrattuna [20]. Maa- ja ilmajoukkojen yhteistyö oli alkeellista aiheuttaen suuria tappioita ja miesmenetyksiä. Tämä johti pahimmillaan tilanteeseen, jossa venäläisten ilmavoimien hävittäjät hyökkäsivät venäläistä erillisosastoa kohti. Tosin Venäjän ilmavoimien tuhannessa suoritettussa ilmataistelussa tuhotuksi tuli vain alle kymmenen ilma-alusta. Ilmavoimat onnistui tuhoamaan taktisesti tärkeitä kohteita pyrkimyksessä saavuttaa laajennettuja sotilaallis-poliittisia tavoitteita [102].

Vaikka Venäjän ilmakomponentin komentaja Anatoly Kornukov esitti heinäkuussa 2000 aikaisemmista konflikteista ja sodista saadut uudet opit, virheet ja epäonnistumiset ilma-aseen käytössä jatkuivat myös toisessa Tsetsenian-sodassa 1990-luvun loppupuolella. Ilmahyökkäykset omia maajoukkoja kohti jatkuivat, tosin vähäisempänä kuin 1990-luvun alkupuolella. Täsmäaseiden vähäisyys sekä ilmavoiman käyttö ”lentävänä tykistönä” maajoukkoja tuettaessa aiheutti suurta tuhoa siviiliväestössä. Venäjän Ilmavoimien joukot olivat toisessa Tsetsenian-sodassa hyvin samankaltaiset ensimmäiseen verrattuna. Venäjä käytti sodassa muun muassa Su-27 - ja Su-30 -hävittäjiä [102]. Kuten monta kertaa aikaisemmin, myös toisessa Tset-

senian-sodassa ilma-ase todettiin tehottomaksi taistelussa kapinallisia ja erilaisia sissiosasto- ja vastaan.

Ilmakomponentit suorittivat jopa 80 prosenttia Venäjän joukkojen pommituksista, mikä osoittaa ilma-aseen tärkeyden. Ilmahyökkäykset tuhosivat suuren määrän panssaroituja ajoneuvoja, ilmatorjunta-aseita, asevarastoja ja -tehtaita sekä viesti- ja tutka-asemia. Sodassa Venäjän ilma-aseella oli elintärkeä merkitys maajoukkojen tukemisessa sekä ylipäätän koko operaation suorittamisessa [102].

Toisessa Tsetsenian-sodassa Venäjän ilmavoimat oli kykenemätön suorittamaan operaatioita huonoissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Kuten ensimmäistä konfliktia Tsetseniassa, myös toista operaatiota leimasi korkean teknologian kommunikaatioyhteyksien, navigaatio- ja tähtäysjärjestelmien puute. Varapääministeri Klebanovin vuonna 2000 antaman lausunnon mukaan Venäjän uusin lentokone oli vuodelta 1992. Nämä asiat vähensivät merkittävästi Venäjän ilma-aseen tehokkuutta 1990-luvun konflikteissa.

Anatoly Kornukovin mukaan Venäjän ilma-aseen tehokkuutta olisi kasvatettava kehittämällä koneiden ja tarvikkeiden ylläpitoa, kasvattamalla joukkoja sekä niiden harjoitusmääriä, päivittämällä koneiden avioniikkaa, kehittämällä uusi kone sekä johtamisjärjestelmärakennetta [102].

Tapahtumat Georgiassa elokuussa 2008 osoittivat auttamatta Venäjän sotavoiman puutteet niin kalustossa, niiden yhtenäisyydessä kuin organisaatorakenteissakin. Venäjän ilmavoimien täsmäaseiden vähyys oli edelleen silmiinpistävää. Niiden puutteellisuudesta johtuen Venäjän ilmavoimien koneet joutuvat lentämään ilmatorjutuilla alueilla, joka aiheutti tappioita myös Georgiassa. GLONASS -järjestelmää ei vielääkään hyödynnetty, tosin osaksi syynä tähän on satelliittien sekä vastaanottimien lukumääräinen riittämättömyys. Esimerkiksi kyky toimia vaikeissa sää- ja valaistusolosuhteissa on Venäjän ilmavoimilla edelleen heikko [47].

### 3.2 Tulevaisuuden näkymiä

Tulevaisuuden ilmasodan kuvaa arvioitaessa tulee ottaa huomioon jo käynnissä olevat muutokset sodankäynnissä yleensä. Tulevaisuuden sodankäyntiä kuvaa todennäköisesti sellainen näkemys, jossa sotaa käyvän suurvallan tai liittouman potentiaaliset vastustajat vaihtelevat toisen ääripään laajamittaisesti varustettavista ammattilaisarmeijoista toisen ääripään kapinalisiin ja terroristeihin. Jälkimmäistä ei voida liittää kansallisvaltoihin, koska niiden rakenne,

kehittyneisyys, doktriini, koulutus ja henki ovat poikkeavat [82]. Toisaalta koko maailman-poliittinen tilanne on muuttunut sellaiseksi, ettei laajamittaista suursotaa liene odotettavissa parin seuraavan vuosikymmenen aikana. Tällaisessa tilanteessa millään taholla ei ole suurta intoa lähteä tekemään todella suuria kehitysponnistuksia. Pikemminkin yleisenä suuntauksena on se, että nykyisen kaltaista taistelukykyä pyritään ylläpitämään aiempaa pienemmillä kustannuksilla. Tämä on ainakin periaatteessa mahdollista hyödyntämällä entistä enemmän elektroniikkaa ja tietotekniikan tarjoamia mahdollisuuksia kaluston ominaisuuksissa ja kehittämissä vaiheissa [95].

Mikään tiedossa oleva asejärjestelmä ei kuitenkaan aiheuta äkillistä, epäjatkuvaa muutosta ilmasodan luonteessa. Ilma-alusten käyttö sotatoimissa keskittyy voimakkaasti operaation alkupäiviin. Teknologinen ja määrällinen ylivoima tuottaa toiselle osapuolelle ilmaherruuden, joka mahdollistaa laajojen maa- ja merioperaatioiden suorittamisen vähillä tappioilla. Operaation myöhemmässä vaiheessa vaadittava teknologian taso on alhaisempi, mikäli ilmaherruus kyetään säilyttämään [95].

Nykypäivän sodankäynti perustuu yhä kasvavissa määrin pitkälle teknologisoituneisiin asejärjestelmiin ja -kokonaisuuksiin. Suurimpien sotavaltioiden välille on muodostunut kilpavarustelu, jossa pyritään saavuttamaan ylivoima jo ennalta. Uusimmat järjestelmät toimivat miehittämättöminä, jolloin omat tappiot aiheuttavat vain taloudellisia menetyksiä. Sotatoimissa pyritään vaikuttamaan yhä syvemmälle vastustajan infrastruktuuriin (vaikutuksiin perustuva sodankäynti).

Sotavarusteiden kehittymistä voidaan luonnollisella tavalla tarkastella kahdesta eri näkökulmasta. Ensimmäinen näkökulma on sotakokemukset ja teoreettinen tutkimus, jotka muuttavat sodankäyntitapoja sekä sotilaallisille järjestelmille asetettavia vaatimuksia. Tämä kehitys tavallaan vetää teknologioiden kehittämistä asettamalla sotavarusteille uusia vaatimuksia. Toinen näkökulma on teknologiavetoinen, jossa uusien innovaatioiden tuottamat taisteluvälineet luovat uusia mahdollisuuksia sodankäyntitavoille. Teknologiavetoista näkökulmaa käytettäessä on selkeästi tunnistettava kaksi tarkastelusuuntaa; mikä on tekniikan kehittymisen myötä mahdollista ja mikä todennäköistä [43].

Sotilaskoneiden valmistusmäärien pienentäminen on johtanut länsimaissa valmistuksen, suunnittelun ja valmistusmenetelmien voimakkaaseen kehittymiseen. Tämän seurauksena kehitys tulee lyhentämään tuotekehityssykliä ja mahdollistamaan taloudellisesti pienemmät sarjat. Apuna suunnittelussa käytetään etenevässä määrin mallinnusta ja simulointia. Kehitykses-

sä on tärkeänä osana myös siviilituotteisiin käytettyjen kaupallisten standardikomponenttien käyttö (Commercial Off-the-Shelf) [43].

Lentokoneiden kehityksen kannalta merkittävää on teknologioiden kehittyminen. Uusien materiaalien ja älykkäiden rakenteiden, kuten häivetekniikan (low observability, stealth), käyttö vaikeuttaa koneen havaittavuutta ja torjuntaa. Kevyiden ja kestävien materiaalien käyttö mahdollistaa suuremman hyötykuorman, pidemmän toimintamatkan sekä paremman taistelukestävyyden. Monisensori- ja navigointijärjestelmien käyttö ja niiden tietojen yhdistäminen mahdollistaa tarkemman navigoinnin myös matalalla sekä maalinosoituksen. Lisäksi järjestelmät mahdollistavat tarvittaessa asejärjestelmien ohjauksen myös huonoissa näkyvyysolosuhteissa. Omasuojajärjestelmät havaitsevat uhkat ja käynnistävät mahdolliset vastatoimenpiteet. Häirintäjärjestelmät mahdollistavat maalin lamauttamisen ja uhkan eliminoimisen [43].

Sotilasilmailun luonne seuraavan 15 vuoden aikana voidaan nähdä suhteellisen selvästi, sillä kaikki tarkastelujakson merkittävät asejärjestelmät ovat jo joko suunnittelu- tai kehitysvaiheessa. Merkittävimpiä käyttöön tulevia asejärjestelmiä ovat hävittäjäkoneet Eurofighter Typhoon (operatiivisessa käytössä Italiassa ja Isossa-Britanniassa vuodesta 2006 alkaen), Lockheed Martin F-22A Raptor (otettu käyttöön vuonna 2005) sekä F-35 Joint Strike Fighter. Tarkastelujakson aikana tuotantoon tulevat myös miehittämättömät taistelukoneet (UCAV). Muita todennäköisiä järjestelmiä ovat pitkän toiminta-ajan tiedustelulennokit sekä hypersoniciset tiedustelu- ja rynnäkkökoneet (nopeus 5-10 Mach) [95].

Tulevaisuuden miehitetty taistelukone on monitoiminen hävittäjäkone, jolla suoritetaan useita eri tehtäviä: ilmatilan hallinta-, torjunta-, rynnäkö- ja pommitustehtäviä. Koneet voidaan aseistaa ohjuksin, ohjattavilla pommeilla ja vapaasti putoavilla pommeilla. Moottori- ja materiaalteknologian kehitys mahdollistaa V/STOL-kyvyn (Vertical/Short Take Off and Landing) ja sitä kautta entistä lyhyemmän kiitotien käytön. Etenkin pystysuora laskeutumiskyky tekee koneen entistä vähemmän riippuvaiseksi kiinteistä tukikohdista. Tulevaisuuden taistelukoneet kykenevät myös niin sanottuun supercruiseen eli ylitääninopeuteen ilman jälkipoltinta. Rynnäkkökoneen torjuminen tulee siis vaatimaan nykyistä nopeampaa reagointia, sillä supercruisin avulla koneet pystyvät tunkeutumaan vihollisen ilmatilaan matalalla ylitääninopeudella [95].

### 3.3 Hävittäjäkaluston luokittelu

Sotilaskoneita on luokiteltu jo vuosikymmeniä muun muassa niiden ominaisuuksien, lentonopeuden, asejärjestelmien sekä puolustus- ja lennonhallintajärjestelmien mukaan. Tutkielmassa esiintyvät hävittäjät luokitellaan kahteen luokkaan, joista ensimmäiseen kuuluvat modernisoidut venäläiset Su-27SM - ja Su-35 -monitoimihävittäjät sekä MiG-35. Kyseiset hävittäjät pystyvät kilpailemaan länsimaisten hävittäjien kanssa, jotka edustivat pisimmälle kehitettyä hävittäjäteknologiaa ennen uuden sukupolven monitoimihävittäjiä.

Toiseen luokkaan kuuluvat uuden sukupolven monitoimihävittäjät, joista ainoastaan yhdysvaltalainen F-22A Raptor on operatiivisessa käytössä. Yhdysvaltalaisella F-35 -koneella on suoritettu jo eriasteisia testauksia, kun venäläistä suunnittelua edustava PAK-FA on periaatteessa vasta kehitysvaiheessa. Näin ollen kyseisistä monitoimihävittäjistä vain F-22A Raptorista voidaan tuoda esiin konkreettista tietoa sen lento-ominaisuuksista, asejärjestelmistä tai ylipäätään käytettävyydestä. Venäläisestä PAK-FA -projektista ei näin ollen voida tuoda esiin kuin teoreettista tietoa ja tähän tulee suhtautua varauksella. Joint Strike Fighter jää näiden kahden esimerkin väliin, sillä sen testilennot kertovat enemmän kuin pelkät suunnitelmat lentokonetehtaan suunnittelupöydällä. Todellinen kuva Joint Strike Fighter -konseptista saadaan toki vasta kun se otetaan virallisesti käyttöön.

#### 3.3.1 Venäjän modernisoidut hävittäjät

Venäjän sotilasilmaluteollisuuden suorittamien modernisointien myötä Su-27 -perheen ja MiG-35 -koneen myötä universaalin MiG-perheen kykyä on kasvatettu niin lento- kuin taisteluominaisuuksiltaan. Modernisoidut koneet vastaavat avioniikaltaan ja elektroniikaltaan paremmin nykypäivän ilmasodan haasteisiin ja niiden kehitystyötä ovat ohjanneet vahvasti ne puutteet, joita Venäjän viimeaikaisissa konflikteissa ja sodissa on havaittu. Edellä mainitut hävittäjät eivät täysin yllä esimerkiksi Yhdysvaltojen uusimpien monitoimihävittäjien tasolle, mutta muuten ne pystyvät kilpailemaan operatiivisessa käytössä olevien muiden hävittäjien kanssa. Modernisointien myötä koneiden elinkaarta ja Venäjän ilmavoimien suorituskykyä on kasvatettu. Uudet modernisaatiot ja ulkomaan vienti mahdollistavat uusien innovaatioiden suunnittelun ja osoittavat Venäjän uudelleen kasvaneen kyvyn tuottaa niitä.



### 3.3.2 Uuden sukupolven monitoimihävittäjät

Viimeaikaiset kehityssuunnat ja projektit ovat osoittaneet selviä muutoksia hävittäjäsuunnittelussa. Suunnittelua on ohjannut muuttunut sotakäsitys, jonka ilmentymänä voidaan pitää uuden sukupolven hävittäjäsuunnittelua. Yhdysvaltalaisen F-22A Raptor - ja Joint Strike Fighter-konseptien myötä uuden sukupolven monitoimihävittäjät pitävät sisällään ilmiöitä, joita aikaisempien sukupolvien hävittäjistä ei löydy. Pyrkimyksenä on ollut integroituneen teknologian saaminen yhdelle ja samalle lavetille. Ei pidä unohtaa myöskään uutta venäläistä hävittäjäsuunnittelua edustavaa PAK-FA -konseptia, josta ei tosin vielä ole julkistettu yhtään ainuttakaan kuvaa.

Ehkä merkittävin ominaisuus uuden sukupolven hävittäjällä on häivekyky (stealth), jolla pyritään välttämään havaittavuus vihollisen sensoreilta. Häivesuunnittelu ilmenee hävittäjän suunnittelussa ja muotoilussa, joiden avulla sensorin lähettämään signaaliin pyritään vaikuttamaan siten, että mahdollisimman pieni osa heijastuisi takaisin. Toisin sanoen hävittäjän tutkapoikkipinta-ala on tehty niin pieneksi, että koneesta takaisin heijastuva lähete on liian pieni havaittavuuden kannalta. Häiveominaisuus kasvattaa merkittävästi hävittäjän toimintakenttää ja mahdollistaa toiminnan ympäristöissä, joissa edeltävien sukupolvien koneet eivät pysty toimimaan. Häiveominaisuus ei uuden sukupolven koneessa tarkoita ainoastaan koneen muodostamaa matalaa tutkaherätettä, vaan myös koneen vaikeampaa havaitsemista elektronisen tiedustelun keinoin. Häiveominaisuuksia parantaa kehittynyt teknologia, joka ilmenee koneissa muun muassa komposiittimateriaalin käyttönä sekä rungon aerodynaamisena suunnitteluna [76]. Merkittävä osa häiveominaisuutta on sisäinen asekuilu, joka mahdollistaa ohjusten, täsmäaseiden ja pommien kuljettamisen koneen rungon sisällä.

Uuden sukupolven hävittäjän taistelukyky muodostuu nopeudesta, nousuvauhdista ja liikehtimiskyvystä. Uusimmissa hävittäjissä on näitä ominaisuuksia parantava moottori, joka suuntaa suihkuvirtausta mahdollistaen moottorin työntövoiman suoran siirtämisen suunnan muutoksiin. Työntövoiman suuntaamista liikehtimiskyvyn parantamiseksi on käytetty jo useissa venäläisvalmisteisissa hävittäjissä sekä F-22A Raptorin myötä myös länsimaisessa kalustossa. Hävittäjän nopeutta parantaa osaltaan myös aerodynaaminen rakenne sekä moottori, joka on aikaisempien konemallien moottoreita tehokkaampi. Aerodynaaminen suunnittelu ja häiveominaisuudet ovat osittain ristiriidassa keskenään. Näiden asioiden yhteensovittaminen tuo näin ollen haasteita tulevaisuuden kehitystyölle. Uuden sukupolven hävittäjän ominaisuuksiin voidaan lukea myös kyky lentää ylitääninopeudella ilman polttoainetta kuluttavaa jälkipoltinta (supercruise). Aikaisempien sukupolvien hävittäjillä oli lähes mahdotonta saavuttaa äänenno-

peuksia täydessä aselastissa tai se oli niin kuluttavaa tehden sen jo ennalta kannattamattomaksi [95]. Lisäksi kehitystyötä on suunnattu lentokoneen työntövoima/paino-suhteen parantuaessa pystysuoraan nousuun/laskeutumiseen sekä lyhyeen lähtökiitoon/laskukiitoon. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii Joint Strike Fighter ja sen STOVL-versio (Short Take-Off and Vertical Landing).

Uuden sukupolven hävittäjässä kaikki järjestelmät syöttävät dataa ja informaatiota (lento-, navigaatio-, tiedustelutiedot) koneen pääjärjestelmään, joka käsittelee informaatiotulvan (kohdetunnistus, uhkaprioriteetti, aseistuksen valinta) ja esittää sen ohjaajalle päätöksenteon pohjaksi ja tueksi. Uuden sukupolven hävittäjä ei ole ainoastaan yksittäinen sensorikeskittymä, joka käyttää sensorien keräämää informaatiota vain omaan käyttöön. Hävittäjä on liittynyt tietovuon välityksellä suurempaan kokonaisuuteen, joka pyrkii luomaan täydellisen tilannekuvan ympäröivästä taistelutilasta, jotta asejärjestelmiä ja muita sensoreita kyettäisiin käyttämään tehokkaasti ja optimaalisesti [82]. Koneiden kehittynyt avioniikka mahdollistaa toiminnan kaikissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Avioniikka kasvattaa koneen luotettavuutta suojaten konetta vaikeissa lento-olosuhteissa sekä vähentäen törmäysuhkaa muihin koneisiin ja lentäviin kohteisiin.

Merkille pantavaa on myös tilannetietoisuus ja sen muodostama etu. Uhkaavat vihollistoimet pystytään havaitsemaan huomattavasti aikaisemmin uuden sukupolven hävittäjien eri järjestelmien myötä. Näin vastatoimille jää enemmän aikaa.

Oleellinen osa uuden sukupolven hävittäjää on elektronisesti skannaava tutka (Active Electronically Scanned Array). Suurimmat erot mekaanisesti skannaavaan tutkaan on suurempi skannausnopeus, pidempi kantomatkä sekä monien kohteiden samanaikainen seuranta ja lukkiuttaminen. Lisäksi AESA-tutka pystyy toimimaan samanaikaisesti niin maa- kuin ilmamoo-deissa ja SAR-ominaisuuden (Synthetic Aperture Radar) myötä kartoittamaan maanpintaa. Yhdysvalloissa kehitys- ja tutkimustyötä on kohdennettu AESA-tutkaan ja sen kykyyn toimia myös monimutkaisempana sensorina kuin pelkästään perinteisenä tutkana. Tulevaisuudessa AESA-tutka tulee todennäköisesti toimimaan myös radiona ja sensorina osana koneen ELSO-asustetta.

## 4. YHDYSVALTALAINEN KALUSTO

Seuraavassa luvussa luodaan katsaus Yhdysvaltojen uusimpiin monitoimihävittäjiin. Luvussa tarkastellaan F-22A Raptorin ja F-35 Lightning II:n ominaisuuksia, eri järjestelmiä ja näiden muodostamaa suorituskykyä verrataan aikaisempiin konetyyppeihin.

### 4.1 F-22A Raptor

F-22A Raptor on Yhdysvaltain ilmavoimien uusiin hävittäjä, joka täyttää ainoana palveluskäytössä olevana koneena uuden sukupolven hävittäjän piirteet. Kone otettiin käyttöön joulukuussa 2005. F-22A Raptor on suunniteltu ilmaherruushävittäjäksi ja se kykenee toteuttamaan ilmasta-ilmaan- ja ilmasta-maahan tehtäviä. Hävittäjä on varustettavissa myös rynnäkkökoneeksi sekä elektronista tiedustelua ja signaalitiedustelua varten. Varsinaisesti F-22A Raptoria ei ole suunniteltu minkään koneen korvaajaksi johtuen sen moniulotteisesta roolista, mutta Yhdysvaltain ilmavoimien asettamien vaatimusten mukaisesti sen tulisi korvata F-15 erityisesti liikkuvuuden, häiveteknologian ja toimintamatkan suhteen [31, 32]. Kuva F-22A Raptorista on liitteessä 4.

#### 4.1.1 Kehityshistoria

YF-22 -prototyyppi voitti Advanced Tactical Fighter (ATF) kilpailun YF-23 -prototyyppiä (Northrop/McDonnell-Douglas) vastaan vuonna 1990. Koneen testi- ja suunnitteluohjelma saatiin päätökseen joulukuussa 1990. Myös kahta prototyyppimoottoria, Pratt & Whitney YF119 ja General Electric YF120, kehitettiin ja testattiin ohjelman aikana. Varsinainen koneiden valmistus aloitettiin helmikuussa 1995, jolloin hävittäjäprojekti todettiin olevan valmis siirtymään seuraavaan vaiheeseen. Vielä tuolloin suunnitelmissa oli valmistaa 750 F-22:sta vuoteen 2013 mennessä [32, 33].

Ensimmäinen F-22 -hävittäjä paljastettiin huhtikuussa 1997, jolloin se sai nimen Raptor. Syyskuussa 2002 Yhdysvaltain ilmavoimat päätti muuttaa koneen nimeksi F/A-22 kuvaamaan paremmin sen moniulotteista roolia ja suorituskykyä niin maa- kuin ilmamaaleja vastaan. Koneen nimi vaihdettiin nykyiseen (F-22A) joulukuussa 2005 [31].

Heinäkuussa 2007 tehty kuudenkymmenen koneen lisätilaus kasvatti tilausmäärän 183:een, mikä vastaa budjetoitua määrää. Tilaus on suunniteltu valmistuvan vuoteen 2011 mennessä.

Kaiken kaikkiaan Yhdysvaltain ilmavoimat ovat ilmaisseet tarpeen 381 hävittäjälle. Tilanne odottaa edelleen ratkaisua kongressilta, sillä varoja ollaan suuntaamassa F-15 hävittäjien korjaukseen F-22:n lisävalmistusten sijaan. Sadas F-22 toimitettiin ilmavoimille elokuussa 2007 [23, 31].

Tällä hetkellä F-22A Raptor on operatiivisessa käytössä Langley'n tukikohdassa Virginiassa (kaksi laivuetta), Elmendorffin tukikohdassa Alaskassa (kaksi laivuetta) sekä Hollomanin tukikohdassa Uudessa Meksikossa. Operatiivinen testaus suoritetaan Edwardsin tukikohdassa Kaliforniassa sekä Nellisin tukikohdassa Nevadassa. Pilottien ja mekaanikkojen koulutus suoritetaan Tyndallin tukikohdassa Floridassa. Tulevaisuudessa koneita tullaan sijoittamaan myös Hickamin tukikohtaan Hawajille. Joulukuussa 2007 F-22A saavutti täyden operatiivisen valmiuden [31, 34].

#### 4.1.2 Ominaisuudet

F-22 saavuttaa Pratt & Whitney F119-PW-100 -tuplamoottorilla jopa 1,58 Machin nopeuden supercruise-ominaisuudella ilman jälkipoltinta. Jälkipolttimella koneen on todettu saavuttavan 2+ Machin nopeuksia. F119-PW-100 -moottoreissa käytetään suihkuvirtauksen suuntausta, mikä lisää koneen ketteryyttä. Suihkuvirtausta voidaan säätää 20 astetta yhteen suuntaan, ylös tai alas [104, 105].

Hävittäjässä on AN/APG-77 AESA-tutka (Active Electronically Scanned Array). Tutka koostuu pienistä moduuleista, joita voidaan käyttää erillisinä. Tämä mahdollistaa nopean suuntauksen, kapean keilan käytön sekä leveän kaistan käytön. Tutkan antennikeilansa suuntaan lähettämä teho on korkeampi kuin muilla yhdysvaltalaisilla tutkilla. Suuri teho mahdollistaa muun muassa muita tutkia suuremman alueen kattavuuden ja erinomaisen kyvyn vaikuttaa vastustajaan sen vaikutuspiirin ulkopuolelta (Stand-off range). Tutkan häirinnänsieto on todettu olevan korkea, mikä mahdollistaa toiminnan syvällä vihollisen ilmatilassa. AN/APG-77 kykenee muuttamaan tutkasäteen suuntaa, tehoa ja muotoa nopeasti. Tämä kyky mahdollistaa kohdetietojen tarjoamisen ohjuksille sekä pienentää sen paljastumistodennäköisyyttä. Kehitystyön tuloksena ylimääräiset mekaaniset osat on poistettu, ja se mikä on kasvattanut sen luotettavuutta ja käytettävyyttä. Korkea suorituskyky on taattu sekä fyysisellä että elektromagneettisella integroinnilla koneen runkoon, joka mahdollistaa matalan tutkapoikkipinta-alan (Radar Cross Section) ja laajan taajuuskaistan käytön. Tutkan erittäin nopea taajuusvaihtelu tekee sen vaikeasti havaittavaksi (Low Probability of Interception) muiden sensorien toimesta. Tutkan kantamaksi on arvioitu 200–240 kilometriä. Suunniteltu tutkapäivitys nostaisi kanta-aman jopa neljäänsataan kilometriin [35].

Ohjaamo on varustettu HOTAS-järjestelmällä (Hands-On Throttle And Stick Control), joka parantaa pilotin kykyä käsitellä konetta turbulenssissa ja korkeissa G-voimissa. Järjestelmä nopeuttaa reaktioaikaa kasvattaen pilotin tilannetietoisuutta. Ohjaamossa on kuusi näyttöä, jotka tarjoavat muun muassa lentoinformaatiota sekä osoittavat ilma- ja maauhkat. Lisäksi Head-Up Display (HUD) osoittaa pilotille maalin tilan, asetilanteen ja -aktiivisuuden sekä osumat [31].

F-22 -koneen ELSO-järjestelmät sisältävät AN/ALR-94 -tutkavaroittimen (Radar Warning Receiver) sekä tunnistimen ja AN/AAR-54 -ohjusvaroitin (Missile Approach Warning System). Järjestelmät tunnistavat koneeseen lukkiutuneen ohjuksen ja ohjuksen laukaisun sekä ilmoittavat ohjuksen tulosuunnan. Lisäksi koneessa on kommunikaatio-, navigointi- ja tunnistus-järjestelmä, joka sisältää muun muassa IFDL- (Intra-Flight Datalink), IFF- (Identification Friend or Foe) ja GPS-järjestelmät (Global Positioning System) sekä microwave-laskeutumisjärjestelmän [31]. Koneen kehittynyt ohjaamo ja sensorifuusio parantavat entisestään pilotin tilannetietoisuutta [32].

F-22 -hävittäjässä on yksi 20 mm M61A2 tykki. Koneen siivissä on neljä ripustinta, joista jokainen kantaa 2270 kg. Ripustimiin voidaan asentaa AIM-120A AMRAAM (Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile) -ohjuksia tai lisäpolttoainesäiliöitä. Koneessa on kolme sisäistä asekuilua. Pääkuiluun voidaan asentaa kuusi AMRAAM AIM-120C -ohjusta tai kaksi AMRAAM -ohjusta ja kaksi 450 kg GBU-32 JDAM -pommia (Joint Direct Attack Munition).



Kuva 1. F-22A Raptorin sisäinen asekuilu [111].

Molemmat sivukuilut voidaan varustaa yhdellä AIM-9M- tai AIM 9-X Sidewinder -ohjuksella. Näiden lisäksi F-22 -koneet integroitiin GPS-ohjattavaan SDB-täsmäaseeseen (Small Diameter Bomb) [32]. Kaiken kaikkiaan F-22A voidaan aseistaa usealla eri tavalla kulloisenkin tehtävän mukaisesti. F-22 -koneen aseistus on esitetty liitteissä 5 ja 12.

F-22 käyttää hyväkseen häiveteknologiaa, jota käytettiin ensi kerran F-117 Nighthawkissa. F-22A Raptorin osalta stealth-ominaisuus on laaja-alaisempi kuin F-117 - tai F-35 -koneissa ja voidaankin puhua ”overall stealth” -ominaisuudesta. Koneen korkeat häiveominaisuudet pe-

rustuvat sen suunniteltuun ja erityismuotoiltuun runkoon. Mikäli koneen siipiin ja runkoon ripustetaan ohjuksia tai lisäpolttonestesäiliöitä, kasvaa koneen havaitsemistodennäköisyys. Häiveominaisuuksien ylläpitämiseksi tulee ohjukset ja pommit asentaa koneen sisäisiin kuluihin. Tämä vähentää luonnollisesti koneen hyötykuormaa pienentäen sen suorituskykyä. Kehittynyt häiveteknologia tarjoaa huomattavasti parantuneen selviytymiskyvyn sekä toimintamahdollisuudet ilma- ja maauhkia vastaan.

#### 4.1.3 Vertailu edeltäviin konetyyppeihin

F-22A Raptor suunniteltiin F-15 Eaglen korvaajaksi, jonka päivitettyt versiot ovat tosin edelleen Yhdysvaltain ilmavoimien aktiivisessa käytössä. Tällä hetkellä rahaa ollaan sijoittamassa F-15 -hävittäjän kehittämiseen ja päivittämiseen F-22 Raptorin tuotantomäärän lisäämisen sijaan. Yhdysvaltain ilmavoimien suunnitelmien mukaan F-15 Eagle on palveluskäytössä vuoteen 2025 saakka.

F-22A Raptorin moniroolisuus kasvattaa sen käyttömahdollisuuksia ilmaherruuden hankkimisesta ja ylläpitämisestä aina erilaisiin tiedustelutehtäviin. F-15 on hävittäjä, joten sen käyttömahdollisuudet ovat huomattavasti rajallisemmat kuin sen seuraajan. Kone suunniteltiin saavuttamaan ja ylläpitämään ilmaherruus ilmataisteluissa. Tosin F-15 -hävittäjän roolia kasvattaa uusimpiin koneisiin tehty ilmasta-maahan -suorituskyky.

Molemmissa koneissa on Pratt & Whitney-ohivirtausmoottori. F-22A Raptorissa on suihkuvirtausta suuntaava moottori, joka lisää koneen ketteryyttä F-15:een verrattuna. Lisäksi F-22A Raptorin moottorin työntövoima on selvästi F-15:n moottoria suurempi. F-22 pystyy saavuttamaan äänennopeuden ilman jälkipoltinta niin sanotulla supercruise-ominaisuudella. F-15:n maksiminopeus on hieman F-22A Raptoria suurempi, mutta tällöin koneet joutuvat käyttämään kuluttavaa jälkipoltinta.

F-15:n maksimi lentoonlätöpaino on hieman seuraajaansa korkeampi. Tämä tarkoittaa luonnollisesti sitä, että F-15 pystyy operoimaan painavammassa asekuormassa. Tämä ilmenee muun muassa siipiin asennettavien taistelulatausten määrästä, mikä F-15:llä on F-22A Raptoria korkeampi. Hävittäjien aseistusta ja niiden vertailua on esitetty taulukossa 1 [22].

Taulukko 1: F-22A Raptorin ja F-15:n aseistus ja niiden vertailu [22].

F-22A Raptor	F-15
1 x M61A2 20 mm tykki  Pääasekuilu: 4 x AIM.120A AMRAAM (ilmasta-ilmaan ohjus) 6 x AIM-120C (ilmasta-ilmaan ohjus) 6 x GBU-32 JDAM PGM (ohjattava pommi) 8 x GBU-39 SDB (á 45 kg) (ohjattava pommi)  Sivuasekuilut: 4 x AIM-9 Sidewinder (ilmasta-ilmaan ohjus)  4 x siipiripustinta (2270 kg) tehtäväkohtaisille aseille tai lisäpolttonestesäiliöille	1 x M61A1 20 mm tykki (Tehtäväkohtainen aseistus voi sisältää mitä tahansa seuraavista) 4 x AIM-7 Sparrow (ilmasta-ilmaan-ohjus) 2 x AIM-9 Sidewinder (ilmasta-ilmaan-ohj.) 2 x AIM-120 AMRAAM (ilmasta-ilmaan- ohjus) GBU-10 -laserohjattu pommi GBU-12 -laserohjattu pommi GBU-24 -laserohjattu pommi GBU-15 -elektro-optisesti ohjattu pommi AGM-130 -pommi GBU-31 JDAM GBU-32 JDAM JSOW-konventionaalinen pommi AGM-88 HARM (tutkasäteilyyn hakeutuva ohjus) AGM-65 Maverick (ilmasta-maahan ohjus)  Yhteensä 7260 kg erilaisia aseita

F-22A Raptorin toimintamatka F-15:een verrattuna on yli kolminkertainen. Tämä selittyy jo osaltaan koneiden sisäisten polttonestesäiliöiden koossa, mikä F-22 Raptorilla on lähes kaksinkertainen edeltäjänsä verrattuna. Tosin yksipaikkaisen F-22 Raptorin maksimi toiminta-ajaksi on todettu noin 15 tuntia. Yhdysvaltain ilmavoimien B-2 -pommikone on suorittanut jopa 38 tuntia kestäviä tehtäviä [4].

F-22 Raptor on suunniteltu myös palveluskäytöstä poistuvan F-117 Nighthawkin korvaajaksi. Häiveteknologiaan perustuva F-117 Nighthawk suunniteltiin Yhdysvaltain ilmavoimien maa-hyökkäyskoneeksi ja kevyeksi pommittajaksi. Koneen on sanottu muuttaneen ilmataistelun luonteen antaen samalla mallin tulevaisuuden hävittäjille. Kuten F-117 Nighthawkin, myös F-22 Raptorin pääasiallisena tarkoituksena on päästä näkymättömissä vaikutusetaisyydelle vihollisesta ja toteuttaa annetut tehtävät. Koneen tutkapoikkipinta-ala on F-117 Nighthawk -konetta matalampi kaikista suunnista, jonka havaittavuus takaapäin oli selvästi suurempi kuin edestäpäin. Molempien koneiden aseistus on samankaltainen, aseistuksena on ilmasta-maahan-ohjuksia ja laserohjattuja täsmäpommeja [19]. Yliääninen supercruise-ominaisuus sekä liikkuvuus tekee F-22 Raptorista huomattavasti suorituskykyisemmän kuin F-117 [10].

F-22A Raptorin monitoimisuus ilmenee sen kykynä toteuttaa myös erilaisia tiedustelutehtäviä. Kone pystyykin jossain määrin täyttämään 1990-luvun loppupuolella palveluksesta poistetun strategisen tiedustelukoneen SR-71 Blackbirdin jättämän aukon. F-22 Raptor pystyy toteuttamaan erilaisia tiedustelutehtäviä kaukana vihollisen vaikutuksesta, aivan kuten SR-71, joka pystyi toimimaan lähes hypersoonisen lentonopeutensa ansiosta turvassa maasta laukaistavilta ohjuksilta. SR-71 Blackbird lentonopeus ylitti 3,3-kertaisesti äänennopeuden; nopeuden, johon F-22:en ei tarvitse päästä kehittyneen häiveteknologian ja tilannetietoisuuden myötä.

#### 4.1.4 Koonnos

F-22A Raptorin monitoimisuus ilmenee sen kykynä toteuttaa useita eri tehtäviä (Kuva 2). F-22 täyttää hävittäjälle asetetut vaatimukset ja se pystyy hankkimaan ja ylläpitämään ilmaherruuden korvaten näin F-15 Eaglen. F-22 Raptorin uusi häiveteknologia tekee sen tutkassa vaikeasti havaittavaksi. Häiveteknologiansa ansiosta se pystyy tunkeutumaan vihollisen ilmatilaan ja toteuttamaan pommituksia maakohteita vastaan korvaten palveluksesta jo poistetun F-117 Nighthawkin. F-22A Raptor pystyy lentämään yliaäninopeudella ilman jälkipoltinta niin sanotulla supercruise-kyvyllä täyttäen osittain strategisen tiedustelukoneen SR-71 Blackbirdin jättämän aukon. F-22 kykenee jakamaan keräämäänsä informaatiota tietovuon



Kuva 2. F-22:n toimintakenttä [107].

avulla muille koneille tai johtopaikoille ylläpitäen tilannetietoisuutta ja tilannekuvaa. Tämän lisäksi F-22A Raptorin pilotti näkee sensorifuusion myötä koko taistelukentän yhdeltä näytöltä parantaen näin tietoisuutta vihollisesta ja sen sijainnista. Näin ollen kone pystyy osaltaan täyttämään myös AWACS-koneen (Airborne Warning and Control System) toimintakenttää. F-22 on suunniteltu helpommin huolettavaksi, lennettäväksi ja ylläpidettäväksi. Saatujen kokemusten mukaan F-22 vaatii vähemmän työvoimaa lentotuntia kohden kuin F-15 [3].

Yhdysvaltain ilmavoimien suorittamissa testeissä ja harjoituksissa F-22 suoritti erilaisia ilma- taisteluja ja - tehtäviä muun muassa taistellen F-15:tä ja F-16:ta vastaan. Toistuvasti F-22 tuhosi vihollisensa ilman, että ne edes havaitsivat konetta. Näihin lähtökohtiin vedoten F-22 Raptor on suorituskykyisempi kuin edeltäjänsä [2, 4].



Kyseinen monitoimihävittäjä on kohdannut myös useita ongelmia lukuisten testilentojen aikana. Vakavin ongelma kohtasi kuuden F-22 -hävittäjän muodostelmaa, niiden suorittaessa yli 12 tunnin testilentoa Havaijilta Kadenan tukikohtaan Japaniin. Hävittäjien ylittäessä kansainvälisen päivämäärärajan (International Date Line) niiden sensorikeskittymät romahtivat. Polttoainejärjestelmä ja navigointijärjestelmä kaatuivat kokonaan sekä osittain myös koneiden kommunikointijärjestelmä. Lukuisista yrityksistä huolimatta järjestelmiä ei saatu palautettua. Hävittäjien onneksi sää oli tapahtuma-aikana kirkas ja mukana oli myös ilmatankkauskoneet, jotka johdattivat hävittäjämuodostelman turvallisesti määränpäähän. Mikäli ilmatankkauskoneita ei olisi ollut mukana, olisivat hävittäjät joutuneet kääntymään takaisin ja suorittamaan paluun ilman minkäänlaisia navigointi- tai kommunikointijärjestelmiä [60]. Kuuden hävittäjän sensorikeskittymien romahtamisen syynä oli koodivirhe. Kyseessä oli pieni virhe miljoonien koodirivien joukossa. Koneiden palattua maahan virhe korjattiin ja 48 tunnin kuluttua koneet olivat jälleen valmiina jatkamaan testiohjelmia.

F-22 -hävittäjäprojektiin ja siihen liittyviin asianhaaroihin on ottanut kantaa entinen Yhdysvaltain ilmavoimien eversti Everest E. Riccioni julkaisussaan ”The F-22 Program – Fact Versus Fiction”. Kyseisessä julkaisussa Riccioni tuo esiin niitä asioita ja piirteitä, joita F-22A -hävittäjässä on, tai pitäisi olla. Ensinnäkin esiin nousee projektin korkea hinta suhteutettuna varsinaisten hävittäjien määrään. Yhdysvaltain ilmavoimien unelmana oli saada kahdeksansataa hävittäjää 70 miljardilla Yhdysvaltain dollarilla. Useiden selvitysten jälkeen koneiden lukumääränä oli 339 ja hintana 64,2 miljardia. Mielenkiintoista projektin kehityksessä on lähes samana pysyvä kokonaishinta koneiden määrän kuitenkin jatkuvasti laskiessa [27].

Esille tulee myös yllääninen lentonopeus, josta ei vielä tällä hetkellä ole minkäänlaisia viitteitä. Esimerkiksi kuusi Yhdysvaltain hävittäjää, joiden piti kyetä lentämään 2,2 Machin nopeuksia, eivät saavuttaneet edes 1,4 Machin lentonopeuksia taistelutilanteissa kymmenen Vietnamin sodan vuoden aikana. Lisäksi Riccioniin mukaan F-22 liikehtiminen ei ole mitenkään ylivertaista edeltäjiinsä verrattuna. Esimerkiksi F-15C pystyy liikehtimään lähes samalla tavalla kuin F-22 jo pelkästään yksinkertaiseen fysiikkaan vedoten [27].

Suurin ongelma tällä hetkellä lienee F-22 -koneen vahvuuksien, niin lento-ominaisuuksissa kuin kehittyneen sensorikeskittymän, todentaminen taistelutilanteissa. Vaikka useat testilentot osoittavat koneen ylivertaisuuden ilmataisteluissa, saattaa todellisuus olla toinen realistisimmissa toimintaympäristöissä. Mitä jos edellä esitetty koodivirhe tapahtuu uudelleen ilma- taistelussa keskellä vihollisen ilmatilaa? Ongelmia kasvattaa se, että hävittäjä on jo tuotannos-

sa ja ennen kaikkea palveluskäytössä. Konkreettista näyttöä monitoimihävittäjän ylivertaisuudesta eri järjestelmien ja lento-ominaisuuksien kannalta ei ole osoitettavissa.

## 4.2 F-35 Lightning II Joint Strike Fighter

F-35 Lightning II on häiveteknologiaa hyväksikäyttävä monitoimihävittäjä, joka on suunniteltu täyttämään Yhdysvaltain ja Yhdistyneen kuningaskunnan asettamat vaatimukset uuden sukupolven hävittäjälle. F-35 Lightning II korvaa useita eri hävittäjiä, jotka ovat ikänsä puolesta poistumassa palveluskäytöstä. Kone on suunniteltu tyydyttämään Yhdysvaltain ilmavoimien (USAF), -merivoimien (US Navy), -merijalkaväen (US Marine Corps) sekä Yhdistyneen kuningaskunnan ilmavoimien (United Kingdom Royal Air Force) ja -merivoimien (UK Royal Navy) tarpeita [36, 38, 39].

Kone sai heinäkuussa 2006 nimekseen F-35 Lightning II. Sitä ennen ohjelma tunnettiin nimellä Joint Strike Fighter (JSF). Koneesta on rakennettu kolme versiota: F-35A Yhdysvaltain ilmavoimille, korvaten F-16:n ja A-10:n samalla täydentäen F-22A Raptoria, F-35B Yhdysvaltain merijalkaväelle, korvaten F/A-18B/C:n ja AV-8B:n, F-35C Yhdysvaltain merivoimille, korvaten F/A-18B/C:n ja A-6:n samalla täydentäen F/A-18E/F:n voimaa. Yhdistyneen kuningaskunnan merivoimien ja -ilmavoimien asettamien vaatimusten mukainen F-35C korvaa sekä Harrier - että Sea Harrier -koneet. Kyseinen konemalli on hyvin samankaltainen kuin Yhdysvaltain merijalkaväelle suunniteltu malli [9, 39]. Kuva F-35A Lightning II:sta koelenolla on liitteessä 6.

### 4.2.1 Kehityshistoria

Marraskuussa 1996 Lockheed Martin ja Boeing valmistsivat kaksi prototyyppiä, X-35:n ja X-32:n, joista Lockheed Martinin malli voitti vuonna 2001 kehityssopimuksen. Sopimuksen, jonka tarkoituksena oli rakentaa Joint Strike Fighter. Huhtikuussa 2003 Joint Strike Fighter-ohjelma läpäisi onnistuneesti tarkastukset. F-35A:n prototyypin (AA-1) ensilento nähtiin 15. joulukuuta 2006. B-mallin prototyyppi (BF-1) lensi ensilentonsa heinäkuussa 2008. C-mallin odotetaan suorittavan ensilentonsa lokakuussa 2009. Yhdysvaltain merijalkaväki tulee saamaan ensimmäiset F-35B -mallit vuonna 2012. Yhdysvaltain ilmavoimien on arvioitu saavan ensimmäiset A-mallit vuonna 2013 ja Yhdysvaltain merivoimat C-mallin vuonna 2015. Kaiken kaikkiaan ohjelmassa syntyneet viiveet ovat nostaneet koneiden hintaa ja siirtäneet palvelukseenottoa parilla vuodella [9, 61].

Kaiken kaikkiaan ohjelmaan on osallistunut Yhdysvaltojen ja Yhdistyneen kuningaskunnan lisäksi kahdeksan valtiota. Kaikki osallistujat on esitetty taulukossa 2. Lisäksi taulukossa on suunnitellut konemäärät ja arvioitu palvelukseenottovuosi [9]. Tietyissä kohdissa konemallia ei ole mainittu, johtuen siitä että lopullista päätöstä ei ole vielä tehty. Joka tapauksessa kyseisissä kohdissa todennäköinen malli on F-35A.

Taulukko 2. Joint Strike Fighter -ohjelman osallistujamaat, suunnitellut konemäärät ja arvioitu palvelukseenottovuosi [9].

Käyttäjä	Suun. määrä	Vuosi	Käyttäjä	Suun. määrä	Vuosi
US Merijalkaväki	340 F-35B	2012	Alankomaiden ilmav.	85 F-35A	2016
US Ilmavoimat	1763 F-35A	2013	Turkin ilmavoimat	100 F-35A	2014
US Merivoimat	340 F-35C	2015	Norjan ilmavoimat	48	2015
UK Ilmav./Meriv.	138 F-35B	2015	Tanskan ilmavoimat	48	2016
Australian ilmav.	100	2014	Kanadan ilmavoimat	60	2017
Italian ilmavoimat	109 F-35A	2014	Israelin ilma- ja avaruusvoimat	25 F-35A (+ 50 koneen lisäoptio)	2012
Italian merivoimat	22 F-35B				

Joint Strike Fighter -ohjelmaa on pidetty monellakin tapaa merkittävänä. F-35 -hävittäjän odotetaan olevan palveluskäytössä aina vuoteen 2060 saakka. Se on ensimmäinen myyntiversio häiveteknologiaa edustavasta koneesta Yhdysvaltain kumppaneille ja yhteistyövaltioille. F-35 on myös ensimmäinen todella tietoverkkokeskeinen hävittäjä. Kone saattaa olla myös viimeinen miehitetty taistelukone miehittämättömien alusten jatkuvasti kasvattaessa rooliaan [61]. Tosin tuotannossa ja palvelukseenotossa tapahtuneiden viivästysten myötä kansainväliset yhteistyökumppanit saattavat vaihtoehtoisesti tilata koneita kilpailevilta yhtiöiltä, joilla koneet ovat jo valmistuksessa. F-35:n kanssa kilpailevia koneita ovat muun muassa Gripen ja Eurofighter Typhoon [61].

#### 4.2.2 Ominaisuudet

F-35 -hävittäjästä on kolme versiota, joilla on pyritty täyttämään eri käyttäjien ja tehtävien asettamat vaatimukset. Yhdysvaltain ilmavoimille suunniteltu F-35A (CTOL) on teknisesti yksinkertaisin malli, joka ei tarvitse leijailuominaisuutta tai kykyä tukeutua lentotukialukseen (Conventional Take-Off and Landing aircraft). Näin ollen malli ei tarvitse vertikaalista nousukykyä tai katapulttilaukaisuun vaadittavaa vahvennettua rakennetta [36, 39].

Yhdysvaltain merijalkaväelle suunniteltu F-35B (STOVL) omaa kyvyn lyhyeen laskeutumiseen sekä vertikaaliseen laskeutumiseen ja -nousuun (Short Take-Off and Vertical Landing aircraft). Malli vaatii kaikkien koneen akselien hallintaa koneen leijaillessa paikallaan tai suo-

rittaessa vertikaalista laskeutumista tai -nousua [36]. Konemalli kykenee tukeutumaan helikoptereille tarkoitetuille tukialuksille vertikaalisen laskukyvyn ansiosta.

F-35C (CV) on suunniteltu Yhdysvaltain merivoimien käyttöön (Carrier Variant). Tukeutumiskyky lentotukialukseen luo suurimman eron A-malliin. F-35C:llä on suurempi siipi pinta-ala, joka mahdollistaa matalavauhtiset laskeutumisaset lentotukialuksille. Suuremmat siivet antavat konemallille paremman kantokapasiteetin. Mallin sisäistä rakennetta on vahvistettu lentotukialuslaskeutumisesta ja katapulttilaukauksista syntyvän rasituksen ehkäisemiseksi. Lisäksi konemallin laskutelineet ovat muiden mallien telineitä vahvemmat ja mallista löytyy luonnollisesti pysäytyskoukku. Konemallia on tarkoitus käyttää merivoimien toimesta first-day-of-war -hävittäjänä yhdessä F/A-18 Super Hornetin kanssa [36, 39].

Koneen kolmen version alkutuotantomalleissa on yksi Pratt & Whitney F-135 ohivirtausmoottori, joka on suunniteltu ja kehitelty F-22A Raptorin F119-moottorista. Kyseinen moottori kärsi testeissä kuitenkin vaurion, mikä sai toimijat etsimään ratkaisua kyseiseen ongelmaan. Tosin vaihtoehtoisen moottorin rahoitus puuttui vuoden 2007 budjetista johtuen moottorivaurion ajankohdasta. F-135 -moottorin hajoaminen ja budjetin julkaisu tapahtuivat molemmat samalla viikolla. Ihmeellistä kyllä rahoitusta ei ole löytynyt vuoden 2009 budjettiin mennessä. Yhdysvaltain ilmavoimat suoritti kuitenkin F-35 -hävittäjän vaihtoehtoisen moottorin testiohjelman. Ohjelmassa testattiin F136-moottoria, joka on suunniteltu General Electric- ja Rolls-Royce-yhtiöiden toimesta. Kaikki F-35 -hävittäjän moottorit on varustettu FADEC-järjestelmällä (Full Authority Digital Electronic Control). Moottorin elektroninen ohjausjärjestelmä vastaanottaa kaiken moottorin toimintaan liittyvän tiedon laskien ja muodostaen komennot eri toimilaitteille, jotka kontrolloivat moottorin säätöparametreja. Järjestelmä helpottaa pilotin toimintaa ja mahdollistaa optimaalisen moottoritehon vallitsevassa sääolossa [15, 39].

F-35 -hävittäjän AN/APG-81 -tutka on Northrop-Grummanin suunnittelema AESA-monitoimitutka. Tutkassa on ilma- ja maamoodit sekä suorituskykyä parantava aktiivinen elektronisesti skannaava peili. Tutkan ilmasta-ilmaan-, ilmasta-maahan- ja elektronisen sodankäynnin-moodit mahdollistavat toiminnan kaikissa sääoloissa sekä automaattisen ilmasta-maahan kohdetähtäyksen. AN/APG-81 on kehitetty muun muassa F-22 Raptorin AN/APG-77 -tutkasta muodostaen oleellisen osan F-35:n sensorikeskittymästä [11, 39].

F-35 -koneen ohjaamossa on suuri aktiivinen nestekidenäyttö tarjoten taktista informaatiota ja koneen järjestelmädataa. Uuden sukupolven ääni-komento-järjestelmä mahdollistaa koneen

käytön ilman manuaalista tiedonsyöttöä. Esimerkiksi radiokanavan vaihto tapahtuu antamalla tietty äänikomento. Ohjaamon suunnittelu on kasvattanut merkittävästi pilotin näkökenttää koneen sivuille sekä keulaan [36, 37, 39].

Nykyhävittäjä sukupolven ohjaamosuunnittelusta poiketen F-35:ssä ei ole HUD-järjestelmää (Head-Up Display). Informaatio, joka normaalisti esitettäisiin hävittäjän näytöllä, heijastetaan F-35:n pilotin kypärävisiiriin. Kyseisen järjestelmän F-35 -hävittäjälle (Helmet Mounted Display System) on suunnitellut Vision System International. Näin ollen HMDS-järjestelmä korvaa HUD-järjestelmän tarjoten sen käyttäjälle todellisen sensorifuusion [37].



Kuva 3. F-35:n ohjaamo [107].

Uutena järjestelmänä F-35 -hävittäjässä on Northrop Grummanin DAIRS-järjestelmä (Distributed Aperture Infrared Sensor), joka tarjoaa pilotille yksilöllisen suojaympäristön koneen ympärille. Järjestelmään kuuluu ohjusvaroitin, lentokonevaroitin, näkökyky pilotille kaikkina vuorokaudenaikoina sekä ammunnanhallinta. DAIRS-järjestelmä ja AN/AAQ-37 -tunnistin kasvattavat koneen operatiivista tehokkuutta ja selviytymisastetta varoittamalla pilottia tulevasta lentokoneesta tai ohjuksesta sekä tukemalla koneen navigointia ja hallintaa [36, 37].

Uutena järjestelmänä koneessa on myös elektro-optinen tähtäysjärjestelmä (Electro-Optical Targeting System). Tämä sisäinen järjestelmä mahdollistaa kohteiden havaitsemisen yhä kauempaa, maakohteiden täsmähavaitsemisen sekä pitkän havaitsemisetäisyyden ilmauhkiin. Järjestelmä on integroitu F-35:n runkoon kestäväällä safiiri-ikkunalla ja liitetty koneen keskustietokoneeseen suurinopeuksisella kuituoptiikalla. EOTS-järjestelmä käyttää kohteiden etsimiseen ja havaitsemiseen muun muassa infrapuna- ja laserteknologiaa [36, 37].

Nämä kaksi edellä mainittua järjestelmää muodostavat F-35:n EOSS-kokonaisuuden (Electro-Optical Sensor System) tarjoten 360-asteisen tilannetietoisuuden koneen ympärille. EOSS-järjestelmän on todettu olevan tulevaisuuden puolustuskyvyn kulmakivi. Järjestelmä tukee tilannetietoisuutta, kohteen tunnistusta sekä asejärjestelmien täsmäkäyttöä [37, 39].

F-35 voi operoida JDAM-pommeista ja Sidewinder-ohjuksista aina Yhdistyneen kuningaskunnan Storm Shadow-ohjukseen. Kone kykenee kantamaan aseita niin sisäisissä asekuiluissa kuin ulkoisissa siipiripustimissa. Koneen eri asevariaatiot sisältävät ilmasta-ilmaan - ja ilmas-  
ta-maahan -ohjuksia sekä suuren määrän täsmäaseita. Erona F-35:n ja F-22:n välillä on ase-  
kuilun rakenne, joka F-35:ssä on lyhyempi. F-35:n sisäiset asekuilut on suunniteltu 910 kg  
pommeille sopivaksi. F-35B -mallin pituus on lyhyempi kuin F-35A:n pituus johtuen vuonna  
2004 tapahtuneesta uudelleen suunnittelusta, jonka tarkoituksena oli keventää B-mallia. Uu-  
delleen suunnittelun tuloksena F-35B ei ole yhteensopiva JSOW- tai 910 kg JDAM-  
pommeille. Koneessa on neljä ulkoista ripustinta, kuhunkin pystytään asentamaan 2270 kg  
hyötykuorma [36, 37]. F-35:n aseistus on esitetty liitteissä 7 ja 13.

F-35 -hävittäjässä ilmenee häiveteknologiassa käytettävää suunnittelua (planform alignment)  
niin rungon kuin siipienkin osalta. Rungon ja ohjaamon sivut ovat viettävät.

#### 4.2.3 Vertailu edeltäviin konetyyppeihin

Yhdysvaltain ilmavoimille suunniteltu F-35A:n on palvelukseen tullessaan tarkoitus joissain  
määrin korvata F-16 -hävittäjä. Kooltaan F-35 on hieman suurempi kuin F-16, mutta silti ne  
ovat ketteryydeltään ja liikkuvuudeltaan samaa luokkaa. Tähän vaikuttaa F135 -  
ohivirtausmoottori, jonka työntövoima on liki kaksinkertainen F-16 -koneen moottorin verrat-  
tuna. F-16:n maksimi nopeus on tosin selvästi F-35:ttä suurempi. Koneiden suurin ero löytyy  
toimintamatkasta, mikä F-35:llä on neljä kertaa suurempi edeltäjäänsä. Ero selittyy jo F-35:n  
yli kaksinkertaisella sisäisellä polttoainesäiliöllä F-16:n verrattuna [5, 22].

F-16:n aseistus ei ole kovinkaan kattava ja koneen maksimi lentoonlätöpaino on vain puolet  
F-35:n vastaavasta. Koneiden aseistus ja niiden vertailu on esitetty taulukossa 3 [5, 22].

*Taulukko 3: F-35 Lightning II:n ja F-16 Fighting Falconin aseistus ja niiden vertailu [5, 22].*

<b>F-35 Lightning II</b>	<b>F-16 Fighting Falcon</b>
1 x GAU-12/U 25 mm tykki (ainoastaan F-35A- mallissa)	1 x M61A1 20 mm tykki
Sisäinen asekuilu:	Jopa 5435 kg aseistusta sisältäen:
6 x AIM-120C AMRAAM (ilmasta-ilmaan-ohjus)	AIM-9 Sidewinder (ilmasta-ilmaan -ohjus)
TAI 2 x 910 kg JDAM -pommi JA 2 x AIM -120C	AIM-120 AMRAAM (ilmasta-ilmaan -ohjus)
AMRAAM -ohjus	AGM-65 Maverick (ilmasta-maahan -ohjus)
	AGM-119 Penguin (meritorjuntaohjus)

<p>Ulkoisen aseistus:</p> <p>Neljä ulkoista ripustinta (á 2270 kg) aseistukseen tai ulkoiseen polttonestesäiliöön</p> <p>AIM-120 AMRAAM -ohjukset voidaan korvata AIM-9 Sidewinder -ohjuksilla tai AIM-132 ASRAAM -kokonaisuudella.</p>	
---	--

F-35:n asekuorma mahdollistaa tehokkaamman suorituskyvyn F-16:een verrattuna. F-35 -koneen sisäisiin asekuiluihin pystytään asentamaan jo saman verran aseistusta kuin F-16 -koneeseen. F-35A -mallin aseistus on verrattavissa F-15E:n järeään asekuormaan. Tämä tarkoittaa myös F-35A:n ulkoisten ripustimien käyttöä, joita kuormitettaessa rikkoutuu F-35:n matala havaittavuus tutkassa [5].

Yhdysvaltain ilmavoimien tilaaman F-35B -mallin on määrä korvata A-10 -maataistelukone. A-10 -kone on suunniteltu tukemaan Yhdysvaltain maajoukkoja ja hyökkäämään vihollisen maakohteita vastaan. Koneen toiminta perustuu varsin matalaan lentonopeuteen, jolloin kone kykenee tarkkaan tulitoimintaan pienikokoisia viholliskohteita vastaan. F-35:n nopeus ja ketteryys ovat selvästi A-10 Thunderboltia kehittyneemmät. A-10 -maataistelukoneen hitauden vuoksi sillä oli suurempi toimintasäde aikaisempiin maataistelukoneisiin verrattuna. F-35 -koneen toimintasäde on liki kolme kertaa A-10:n sädettä suurempi, mikä mahdollistaa huomattavasti pidemmän operointiajan [22]. F-35B pystyy tukeutumaan lentotukialuksien lisäksi myös helikoptereille tarkoitetuille aluksille, mikä mahdollistaa sen toiminnan lähellä maataisteluja sekä ilmatulituen tarjoamisen kosketuksissa oleville maajoukoille. A-10 -maataistelukone on saavuttanut sotatoimissaan suunnatonta menestystä. Persianlahden sodassa vuonna 1991 kone suoritti yli kahdeksantuhatta taistelulentoa tuhoten tuhat irakilaista panssarivaunua ja kaksituhatta muuta ajoneuvoa [17].

Kuten F-35, myös A-10 -maataistelukone pystyy toimimaan kaikkina vuorokaudenaikoina. F-35 -koneen etuna on sen osittainen häiveteknologia, jonka avulla se tunkeutuu helpommin vihollisen ilmatilaan. F-35:n vahvuutena ovat uudet täsmäaseet, joiden tarkkuus aikaisempiin aseisiin nähden on huomattavasti suurempi. Molemmissa koneissa ilmenee helppo huollettavuus ja ylläpito. Esimerkiksi F-35 -kone ilmoittaa mahdollisista vioista suoraan tukikohtaan, jossa mahdolliset toimenpiteet voidaan aloittaa jo ennen koneen laskeutumista [5, 18].

Yhdysvaltain merijalkaväelle sekä Yhdistyneen kuningaskunnan ilma- ja merivoimille suunniteltu F-35B on määrä korvata F/A-18 Hornet, AV-8B sekä brittien Sea Harrier-kone.

Verrattaessa F-35 -hävittäjää F/A-18 Hornetiin, voidaan todeta koneiden olevan teknisiltä ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaiset. Suurin ero löytyy toimintasäteessä, mikä F/A-18 Hornetilla on selvästi suurempi [22]. F/A-18 pystyy toteuttamaan useita eri tehtäviä. Näistä mainittakoon muun muassa vihollisen ilmapuolustuksen lamauttaminen, ilmaherruuden hankkiminen, erilaiset tiedustelutehtävät sekä kaikkina vuorokaudenaikoina suoritettavat hävittäjätehtävät. F-35 kykenee suorittamaan paitsi samoja tehtäviä, mutta myös useampia tehtäviä vuorokaudenaikana, kehittäen edelleen hävittäjän suorituskykyä ja käytettävyyttä. Suurin ero F-35:n ja F/A-18 Hornetin välillä on häiveteknologia, joka kasvattaa F-35:n käytettävyyttä ja kykyä toimia vihamielisessä toimintaympäristössä. F/A-18 Hornet pystyi lentämään lentotunneissa kolme kertaa enemmän kuin Yhdysvaltain merivoimien taktiset koneet F-4 ja A-7. Tähän syynä olivat luotettavuus sekä huoltotoimenpiteiden helppous [28].

Yhdysvaltain merijalkaväellä on suuri tarve F-35B -koneille AV-8B:n korvaajina. AV-8B -koneet ovat tulleet tiensä päähän, joista kertoo kasvavien onnettomuuksien määrä [5]. AV-8B Harrier II on kehitetty AV-8 -koneesta, joka on ainoana länsimaisena sotilaskoneena omaa kyvyn nousta ja laskeutua pystysuoraan. Koneella on muitakin helikopterimaisia lentom ominaisuuksia, kuten kyky leijua ja kääntyä paikallaan [64]. F-35B STOVL pystyy nousemaan ja laskeutumaan vertikaalisesti täyttäen myös tämän AV-8B:n ainutlaatuisen lentom ominaisuuden.

Päivityksistä huolimatta AV-8B Harrier II ei täytä nykypäivän vaatimuksia toimintamatkassa tai asekuormassa [5]. F-35 -hävittäjän maksimi lentoonlähtöpaino on kaksi kertaa suurempi kuin AV-8B -koneen. Lisäksi AV-8B:n sisäinen polttonestesäiliö on yli kaksi kertaa pienempi seuraajaansa verrattuna [1].

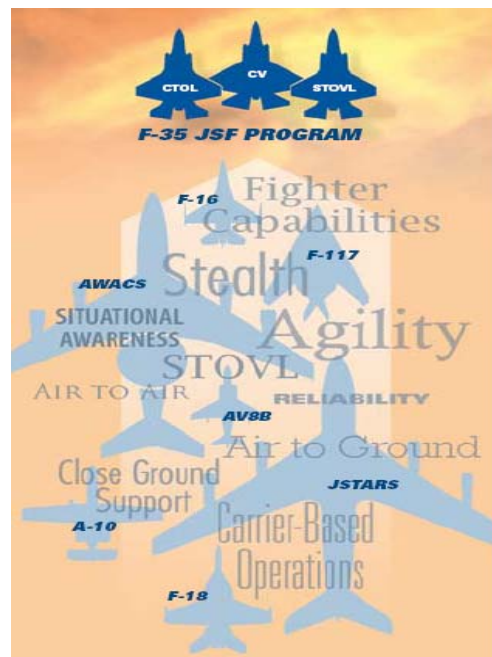
#### 4.2.4 Koonnos

F-35 Lightning II kohtaa Yhdysvaltain ilmavoimien, -merivoimien ja merijalkaväen sekä Yhdistyneen kuningaskunnan ilma- ja merivoimien asettamat vaatimukset. Sisäinen aseistus, kehittynyt sensorikeskittymä ja pitkälle edennyt avioniikka ovat kaikki tämän hävittäjän piirteitä, joilla pyritään täyttämään kolmen puolustushaaran tarpeet.

F-35 Lightning II korvaa palvelukseen tullessaan useita eri konetyyppejä (Kuva 4). Se tulee korvaamaan usean valtion vanhenevan F-16 -kaluston. Sen osittainen häiveteknologia mahdollistaa toiminnan samoin periaattein kuin F-117 Nighthawk. F-35 pystyy vaikuttamaan pääasiallisesti maakohteisiin sekä toteuttamaan maajoukkoja tukevia toimenpiteitä. F-35 pystyy tukeutumaan tukialuksille päästen näin lähelle rintamalinjaa ja taistelevia joukkoja. Näiden



lento- ja taisteluominaisuuksien osalta se korvaa AV-8B -koneen, A-10 -maataistelukoneen sekä F/A-18 Hornetin täydentäen F-22 Raptorin sekä F/A-18 Super Hornetin suorituskykyä. F-35 -hävittäjän luotettavuus sekä helppo huollettavuus ylläpitävät sen suorituskykyä, vähentäen samalla kustannuksia. Koneen sensorikeskittymä ja avioniikka nostavat pilotin tilannetietoisuutta, jolloin F-35 pystyy tarkkailemaan taistelukenttää ja siellä olevia uhkia ja kohteita. Koneen järjestelmät varoittavat mahdollisesta ilma- tai maauhkasta, kasvattaen koneen ja pilotin selviytymisastetta. Näiltä osin F-35 -hävittäjä pystyy samaan sen informaation itseltään, mihin muut koneet tarvitsisivat AWACS - ja JSTARS (Joint Surveillance Target Attack Radar System) -koneiden tukea.



Kuva 4. F-35:n toimintakenttä [107].

F-35 -koneen on sanottu olevan valmistuskustannuksiltaan normaalin hävittäjän tasoinen, mutta sen huollollinen tarve ja ylläpito vaativat huomattavasti vähemmän kuin aikaisemmat hävittäjät [37]. Näiden asianhaarojen todellisuus mitataan vasta kun kone on saatu palveluskäyttöön ja sitä kautta todellisiin taistelutilanteisiin, joko erilaisissa simuloinneissa tai todellisessa toimintaympäristössä. Tällä hetkellä koneen tehokkuus ja korkea suorituskyky perustuvat arvioihin ja ennustuksiin. Joka tapauksessa F-35 Lightning II siirtää tullessaan Yhdysvaltojen sekä sen kumppaneiden sotakoneiston uudelle vuosikymmenelle muuttaen osaltaan myös ilmasodan kuvaa.

Vahvuutena Joint Strike Fighter-projektissa on eri järjestelmien ja yksityiskohtien kehittäminen F-22A Raptorin pohjalta. F-22 -projektista on saatu arvokasta kokemusta ja siinä havaittuja ongelmia on pystytty ratkaisemaan. Tämä edesauttaa JSF-projektia, ennen kaikkea kehittämään edelleen koneen eri järjestelmiä sekä vähentämään mahdollisten ongelmien määrää.

Suurimpana ongelmana Joint Strike Fighter -projektissa on monikansallisuus. Mikäli monikansallisesta yhteistyöstä irtautuu yksikään valtio, joutuu koko projekti ja sen kustannukset uuteen syyniin. Tämä saattaa pahimmillaan vaikuttaa tuotannossa olevien koneiden määrään. Todennäköisemmin aikataulu tulee vain pitkittymään. Mahdollisesti myös itse hävittäjä saat-

taa kokea joitain muutoksia. Pitkäkantoisimmat vaikutukset kohdistuvat Yhdysvalta-johtoisiin yhteistyökuvioihin niin teollisuuden kuin sotatoimien osalta.

Projektin tulevaisuus riippuu pitkälti rahoituksesta, aikataulusta sekä kustannuksista. Tällä hetkellä projektin kehitystyö ja tuotanto ovat täydessä käynnissä. Pienetkin muutokset hävittäjän suunnittelussa tai valmistuksessa saattavat kasvattaa kokonaiskustannuksia tai pitkittää koneen saantia operatiiviseen käyttöön [103].

## 5. VENÄLÄINEN KALUSTO

Seuraavassa luvussa tarkastellaan Venäjän modernisoituja monitoimihävittäjiä sekä uuden sukupolven monitoimihävittäjäprojektia. Luvussa käsitellään uuden sukupolven PAK-FA -monitoimihävittäjää sekä Su-27SM -, Su-35 - ja MiG-35 -monitoimihävittäjiä, niiden kehityshistoriaa, tärkeimpiä järjestelmiä ja niiden ominaisuuksia.

### 5.1 Venäjän uuden sukupolven hävittäjäprojekti

1980-luvulla Venäjä aloitti tulevaisuuden monitoimihävittäjän suunnittelun. Suunnittelu- ja kehitystyöstä vastasi Mikoyan-Gurevich -suunnittelutoimisto. Tulevaisuuden hävittäjän oli tarkoitus kilpailla Yhdysvalloissa järjestetyn Advanced Tactical Fighter-ohjelman kanssa. Lisäksi Venäjä tarvitsi korvaajaa vanhentuneille MiG-29 - ja Su-27 -koneille. Projekti tunnettiin nimellä MiG MFI (Mnogofunktsionalni Frontovoi Istrebiel) eli monikäyttöinen etulinjan hävittäjä, jonka piti suunnitelmien mukaan olla tuotannossa vuonna 2001. Kone suunniteltiin ensisijaisesti ilmaherruushävittäjäksi, mutta suunnittelijoiden mukaan se kykenisi myös muihin tehtäviin. Projektin edetessä eri kehitysversiot tunnettiin useilla eri nimillä, kuten MiG 1.42 (I-42), MiG 1.44 (I-44), MiG-35 sekä MiG-39 [70, 71].

MFI-hävittäjän rinnalla suunniteltiin myös toista, kevyempää LFI-hävittäjää (Legkij Frontovoy Istrebitel). Kyseisen hävittäjäprojektin suunniteltiin olevan tuotannossa vuoteen 2006 mennessä. Yhdessä MFI-konseptin kanssa, näiden kahden hävittäjän oli määrä korvata MiG-29 - ja Su-27 -hävittäjät. LFI-projekti kuitenkin jäädytettiin ja päätettiin keskittyä vain yhden kokoluokan koneen kehittämiseen [82].

Edellä mainittujen hävittäjien rinnalla kehitti Sukhoi-yhtiö omaa konseptiaan nimeltään S-32 Berkut. Projekti tunnetaan myös nimellä S-37 sekä Su-47, jotka muodostuivat konseptin kehityksessä ja edistyessä. Tämän koneen oli alun perin tarkoitus toimia testialustana, jolla testat-

taisiin vain uuden teknologian soveltumista hävittäjiin. Alun perin S-32 -konseptin prioriteetti oli tästä puhtaasta testiluonteesta johtuen selvästi MiG:n projektin alapuolella [82].

MiG 1.42 -projekti kuitenkin viivästyi teknisistä ongelmista sekä suurista kustannuksista johtuen. Kyseinen projekti oli yksi harvoista, jotka selvisivät suurista Venäjän puolustusbudjettiin kohdistuneista leikkauksista. Maaliskuussa 1997 tehdyssä virallisessa ilmoituksessa todettiin, että kaikkien määrittelemättömien hävittäjäprojektien rahoitus tultaisiin lopettamaan. Monien vaikuttajien katseet kääntyivät MiG 1.42 -projektiin. Lopulta vuonna 2002 Sukhoi-yhtiö voitti kilpailun uuden venäläisen hävittäjän suunnittelusta ja rakentamisesta. Näin Sukhoi lentokonetehtaan I-21 PAK-FA (Perspektivnyi Aviatsionnyi Kompleks Frontovoi Aviatsyi - Prospective Aviation Complex for Frontal Aviation) valittiin virallisesti maan uuden sukupolven hävittäjäksi [92]. Osaltaan valintaan on vaikuttanut Sukhoi-yhtiön taloudellinen vakaus ja sen kokemus verrattuna muihin kilpaileviin yrityksiin. Sukhoi on työskennellyt viimeisen vuosikymmenen aikana intensiivisemmin kuin mikään muu sotilasilmailualan yritys Venäjällä [82].

Projektinimenä koneesta käytetään lyhennettä T-50. Kone pohjautuu Su-47 -hävittäjässä kehitettyyn tekniikkaan, tosin siivet on käännetty sivulle. Suunnitelmien mukaan Sukhoi muuttaa Su-47 -koneen vastaamaan PAK-FA:lle asetettuja vaatimuksia. Lisäksi suunnittelussa tullaan käyttämään hyväksi myös MiG 1.42 -projektissa saatuja tuloksia [30].

Kesäkuussa 2007 annetun ilmoituksen mukaan Venäjä suunnittelee lentävänsä Sukhoi T-50 -hävittäjällä ensimmäistä kertaa vuonna 2009. Alun perin koneen ensilentoa odotettiin jopa vuonna 2006. Lisää mielenkiintoa projektiin toi Venäjän sopima yhteistyö Intian kanssa lokakuussa 2007 [92]. Intia osallistuu kehitystyön kustannuksiin ja sopimuksen mukaan tulee saamaan oman versionsa koneesta. Kyseinen versio eroaa venäläisten omasta versiosta ja se suunnitellaan vastaamaan Intian asettamia vaatimuksia. Kyseessä on tässä mittakaavassa ensimmäinen yhteistyö näiden kahden maan välillä, vaikka yhteistyötä on tehty jo aikaisemmin muun muassa Su-30 -hävittäjän tiimoilta [82]. Venäjän entinen presidentti Vladimir Putin ilmoitti vuoden 2007 lopulla, että kone tulee palveluskäyttöön 2012–2015, tosin lähteen mukaan [92] myöhäisempi ajankohta on realistisempi. Venäjän apulaisilmajohtaja kenraali Igor Sadofyev mainitsee Indian Times-lehdessä [49] julkaistussa artikkelissa, että uusi hävittäjä olisi saatava palveluskäyttöön vuoteen 2015 mennessä. Suunnitteluohjelman kannalta avainasemassa tulee olemaan Puolustusministerin hyväksymä rahoitus, jolla yhteistyösopimukset ja ennen kaikkea Sukhoi-yhtiö pystyisi ylläpitämään kehitysohjelman [92].

Mikojanin uuden sukupolven konehankkeen lopetuspäätöksestä huolimatta tehdas on ilmoittanut jatkavansa omalla kustannuksella tulevaisuuden hävittäjän kehitystyötä. Tutkimuksen alla on kevyen ja keskiraskaan hävittäjän suunnittelu. Tehdas on ilmoittanut, että toistaiseksi pienoismalleilla on suoritettu jo tuulitunnelitestauksia [14].

### 5.1.2 Ominaisuudet

PAK-FA -kone on tarkoitettu ensisijaisesti ilmaherruustehtäviin sekä ilmasta-maahan tehtäviin. Se pystyy toteuttamaan myös erilaisia tiedustelutehtäviä [79]. Koneen muotoiluun liittyviä yksityiskohtia ei ole vielä julkaistu, mutta odotettavissa on yhdennäköisyyttä Su-47 -alustaan. Tosin koneessa tulee todennäköisesti olemaan konventionaalisempi siipisuunnittelu kuin Su-47 -koneen edespäin suunnatuissa siivissä ja canardeissa [92].

Eri lähteistä saatujen tietojen mukaan kone tullaan varustamaan kahdella AL-41F -moottorilla, joiden yhteenlaskettu teho on 280 kN, eli lähes 31 000 kg [82]. Tosin tällä hetkellä kyseinen moottori on vasta kehitteillä ja sen tämänhetkinen valmius on vain 30 prosentin luokkaa. Asiantuntijoiden mukaan AL-41F -moottorin saattaminen palveluskäyttöön maksaisi 600–800 miljoonaa yhdysvaltain dollaria. Näillä näkymin kone tulee aluksi käyttämään AL-31F -moottorista modifioitua 117S-versiota, joiden yhteenlaskettu teho on 29 000 kg. Joidenkin tietojen mukaan palveluskäytössä kone tulisi käyttämään kahta joko NPO Saturn- tai FGUP MMPP Salyut-yhtiön moottoria, joiden teho olisi jopa 35 000 kg [78].

Koneen avioniikan ja siihen kuuluvien tietokoneiden sekä ohjaamovarustuksen kehittelystä ja valmistuksesta vastaa Ramenskoye PKB. Sukhoi integroi avioniikan yhdessä Raduga NPO:n ja Zvezda Strela-yhtiöiden kanssa. Raduga NPO ja Zvezda Strela ovat ilmasta-maahan ohjuksiin erikoistuneita yhtiöitä, kun taas Vympel-yhtiö kehittää uusia ilmasta-ilmaan ohjuksia. Lisäksi koneeseen tultaneen kehittämään kyky operoida uusimmilla venäläisillä merimaaliohjuksilla. Näin ollen koneen aseistus tulee olemaan laaja kattaen toiminnan ilmasta-ilmaan, ilmasta-maahan sekä ilmasta-merelle tehtävissä. PAK-FA -koneeseen on suunniteltu asennettavan Tikhomirov NIIP-yhtiön (Nauchno-Issledovatel'skiy Priborostroyeniya) valmistama tutka. UOMZ-yhtiö (Ural Optical and Mechanical Plant) vastaa elektro-optisista laitteista ja KNIRTI-yhtiö elektronisen sodankäynnin laitteista ja ohjelmista. Kyseessä on sama yhteistyökuvio kuin Su-30MKI -koneen kehitystyössä [21, 82].

Lisäksi PAK-FA -koneessa on sanottu ilmenevän muun muassa pitkä taistelusäde, yliääninen matkalentonopeus ilman jälkipoltinta, matala tutkapoikkipinta-ala, ylivertainen liikehtimisky-

ky sekä STOL-kyky (Short Take-Off and Landing). Teknisten vaatimusten mukaisesti PAK-FA:n normaali lentoonlättopaino tulee olemaan 20 tonnin luokkaa, mikä vastaa lähes kahden uuden sukupolven amerikkalaisen hävittäjän (F-22A ja F-35) keskiverto lentoonlättopainoa. Koneen siipikonstruktio tulee olemaan sivuille käännetyt toisin kuin Su-47 -versiossa. Uuden koneen siipikonstruktion kehittämisessä ja suunnittelussa tullaan ottamaan huomioon kokemukset, joita on saatu Su-47 -projektin koelentojen tiimoilta [78].

Sukhoin edustajat ovat painottaneet, että S-37/Su-47 on ollut puhtaasti kokeilu- ja testauskäyttöön tarkoitettu projekti eikä sitä pidä sellaisenaan verrata yhdysvaltalaisiin hävittäjiin. S-37/Su-47 -mallin eteenpäin käännettyjen siipien muodostamalla aerodynaamisella kolmitasoisella rakenteella (swept-forward wing triplane) on todettu olevan tiettyjä etuisuuksia vastaavankokoiseen perinteiseen siipikonstruktioon verrattuna [82]:

- parempi aerodynaaminen liikehtimiskyky ja parempi ohjattavuus erityisesti hitailla nopeuksilla ja suurilla kohtauskulmilla
- suurempi nostovoimasuhde (lift to drag ratio)
- pidempi toimintasäde aliaäninopeuksilla
- ohjainpintojen parempi toimintakyky
- lyhyempi nousu- ja laskumatka

Suurimpana haittapuolena testausohjelmassa on havaittu siiven joustaminen ja vääntyminen ja niistä seuraavat rakenteelliset vauriot. Metalliset rakenteet, joilla ongelma pyrittiin poistamaan, kasvattivat koneen painon liian suureksi. Viimeisimmissä koelentoissa käytetyt hiilikuiturakenteet auttoivat osin ongelmien ratkaisemisessa [82].

PAK-FA:n on tarkoitus olla vastine amerikkalaisille uuden sukupolven hävittäjille F-22A Raptorille sekä F-35 Lightning II:lle. Kenraali Sadofyev ilmoitti venäläisen koneen pystyvän vastaamaan suorituskyvyltään F-35 -hävittäjää [49]. Koneen on sanottu olevan ulkoisesti samantyyppinen kuin amerikkalaiset vastineensa. Laitteiden testialustana käytetään Su-35BM -konetta. Uusi kone on sanottu olevan hieman kevyempi kuin myyntimenestys Su-30, mutta MiG-29 -konetta painavampi. Asekuorma on tarkoitus kuljettaa sisäisissä asekuiluissa, aivan kuten amerikkalaisten uusimmissa monitoimihävittäjissä [30].

## 5.2 Su-27SM ja Su-35

Su-27SM on Su-27 -hävittäjän modernisoitu versio ja sitä pidetään ensimmäisenä venäläisenä monitoimikoneena. Kone teki ensilentonsa loppuvuodesta 2002 ja ensimmäiset Su-27S -koneesta modernisoidut versiot Venäjän ilmavoimat saivat käyttöönsä joulukuussa 2003. Mo-

dernisoinnin seurauksena koneen tehtäväkenttä on laajentunut perinteisistä ilmataistelu- ja torjuntatehtävistä rynnäköintiin maa- ja merimaaleja vastaan, lisäksi kone kykenee vihollisen ilmapuolustuksen lamauttamiseen (SEAD). Ensimmäiset modernisoidut koneet ovat tehty 1991–1992 vuosina valmistettujen koneiden rungoille [48, 82]. Su-27SM -koneesta on valmistettu myös vientiversio Su-27SKM, joka ei eroa paljoakaan SM-mallista. Kuva Su-27SM -koneesta on liitteessä 8.

Pisimmälle modernisoitu Su-27 -perheen kone on Su-35, joka tunnetaan myös tyyppimerkinöllä Su-35BM (Bol'shaya Modernizatsia) ja Su-27SM2. Ensimmäinen Su-35 -prototyyppi, joka on koottu Komsomolsk-on-Amurin tehtaalla (KnAAPO), paljastettiin elokuussa 2007 MAKS -lentonäytöksessä Moskovassa [25]. Koneita tullaan käyttämään, taloudellisen tilanteen salliessa, venäläisen uuden sukupolven hävittäjän laitteiden testialustana. Sen on suunniteltu täyttävän myös nykyisen kaluston poistumisen ja uuden sukupolven hävittäjän käyttööntottamisen väliin jäävän aukon. Su-35:n kuva on liitteessä 9.

### 5.2.1 Kehityshistoria

Vuosituhanen vaihteessa, rinnakkain Intialle, Kiinalle ja Malesialle suunniteltujen Su-30 -koneiden kanssa, Sukhoi Holding-yhtiö kehitti modernisoidun version Venäjän ilmavoimien Su-27 -hävittäjälle. Kone nimettiin Su-27SM:ksi, jossa M-kirjain tulee sanasta modernizeerovanny (modernisoitu) [42].

Su-27SM on kehitetty Su-27 - ja Su-27S -koneista. Uusien Yhdysvaltojen ilmavoimien F-15 Eaglen ja F-16 Fighting Falconin esittely 1970-luvun puolessavälissä asetti itäblokin hävittäjäkaluston altavastaajan rooliin. Tästä lähtökohdasta Sukhoi Design Bureau aloitti uuden hävittäjän, Su-27:n, suunnittelun. Hävittäjä suunniteltiin Yhdysvaltojen uuden sukupolven hävittäjien kilpailijaksi, jotka omasivat pitkän toimintasäteen, raskaan aseistuksen sekä korkean liikkuvuuden ja ketteryuden. Koneella on korkea suorituskyky ja liikkuvuus fly-by-wire -järjestelmän myötä ja se kykenee kantamaan jopa 10 ilmasta-ilmaan ohjusta [48, 99].

Su-35 on toinen versio T-10 -perheen koneista, joka kantaa kyseistä nimeä. Ensimmäinen Su-35 valmistettiin kaksikymmentä vuotta sitten lentäen ensilentonsa vuonna 1998 nimellä Su-27M. Vuonna 1991 aloitettiin Su-27M:n massatuotanto Su-35:n nimen alla. Ensimmäinen sarjatuotettu kone lensi huhtikuussa 1992. Johtuen rahoitusvaikeuksista vuosina 1992–1995 vain 12 Su-35 -koneita toimitettiin Venäjän ilmavoimille. Kyseisiä koneita on käytetty testi- ja koelentoihin [84].

Myös Su-37 -kone kehitettiin Su-35:n pohjalta. Kyseinen kone, joka usein sekoitetaan S.37/Su-47 -koeversioon, oli varustettu suihkuvirtausta suuntaavalla moottorilla (Thrust-Vectoring Engine). Suurin ero Su-37:n ja Su-35:n välillä oli moottori. Su-37 -prototyyppiä suihkuvirtausta suuntaavalla moottorilla valmistettiin vain yksi kappale. Venäjän ilmavoimien palattua jälleen jaloilleen 1990-luvun loppupuolella, annettiin uudelle kehitettävälle versiolle Su-35BM -nimike. Nykyinen Su-35 -projekti alkoi vuonna 2002. Ensimmäisen prototyypin (901) ensilento suoritettiin helmikuussa 2008. Toinen prototyyppi, runkonumeroltaan 902, lensi ensimmäistä kertaa lokakuussa 2008. Yhtiöllä on tarkoitus valmistaa kolme lentävää prototyyppiä ja yksi kone raskuskokeisiin. Kolmas ja viimeinen kone on suorittanut ensilentoja vuoden 2008 loppuun mennessä [13, 96]. Tuoreimman Sukhoi-yhtiöltä saadun tiedon mukaan koneen tuotanto aloitetaan vuonna 2011 [21].

Venäjän ilmavoimien vastaanottamat ensimmäiset viisi Su-27SM -konetta toimitettiin Lipetskin koelentokeskukseen joulukuun lopulla 2003. Ilmavoimien koelennot suoritettiin 968. Koelentorykmentissä. Marraskuussa 2006 Sukhoi-pääjohtaja Mikhail Pogosyanin ilmoitti kuudesta toimitetusta Su-27SM -koneesta Venäjän ilmavoimille sekä valmistellusta sopimuksesta, joka käsitti 24 kappaleen erän Su-27 -koneen modernisoinnista. Vuosina 2004–2006 varustettiin Venäjän Kaukoidässä oleva rykmentti modernisoidulla SM-kalustolla (24 konetta) [84]. Kuten aikaisemmat modernisoinnit, myös edellä mainittu projekti toteutettiin KnAAPOn tehtailla Komsomolsk-na-Amuressa. Sopimus oli samalla myös erinomainen pohja Sukhoi-pääjohtajan kaavailemalle uudelle sopimukselle. Asiantuntijoiden mukaan nykypäivän Venäjän ilmavoimat tarvitsee noin kaksi sataa modernisoitua Su-27SM -konetta [13].

Vuonna 2007 KnAAPO käynnisti toisen rykmentin modernisoinnin ja luovutti kahdeksan kappaletta modernisoituja koneita Kaukoidässä toimivalle Hävittäjälentorykmentille. Nämä toimitukset ovat jatkuneet vuonna 2008 ja mikäli tuotantovauhti pysyy samana (kahdeksan konetta/vuosi) tulee toinen rykmentti varustetuksi vuoden 2009 loppuun mennessä [100, 101].

Vuosina 2009–2010 tulee selviämään Su-27SM -koneen jatkotilanne, vaihtoehtona on joko mahdollinen lisätuotanto tai kehittyneemmän Su-27SM2 -version (Su-35) version käyttöönotto.

### 5.2.2 Ominaisuudet

Modernisoinnin myötä Su-27SM -koneen paino ja koko ovat kasvaneet. Tämä on johtanut uuden moottorin suunnitteluun ja kehittämiseen. 10. lokakuuta 2006 silloinen ilmavoimien

komentaja Vladimir Mikhailov allekirjoitti valtion asetuksen, jolla virallisesti määrättiin Su-27 -hävittäjät varustettavaksi uusilla moottoreilla. Aikaisempi Saturnin AL-31F -moottori korvataan uudella moottorilla. Su-27 -koekoneessa n:o 37–11 oli asennettu uudet MMPP Sa-lyut-yhtiön valmistamat AL-31F-M1 -suihkumoottorit. Molemmat moottorit tuottavat 132,4 kN työntövoiman, joka on 9,8 kN enemmän kuin alkuperäisessä AL-31F -moottorissa (122,6 kN). Seuraava modernisointi (AL-31F-SM) työntövoiman lisäämiseksi on jo koepenkeissä käyttökokeissa. Tämän lisäksi vieläkin voimakkaampaa AL-31F-M3 -moottoria suunnitellaan jo. Lähteiden mukaan uusimman moottorin työntövoima on 147,1 kN [7, 48]. Su-27SM -koneisiin asennettava AL-31F-M1 -moottori kasvattaa taistelutehokkuutta, moottorin elinkaarta ja vähentää kustannuskuluja 15 prosenttia edeltäjäänsä verrattuna [99].

Su-35:n AL-31FM-117S -moottori on modernisoitu versio AL-31F -moottorista. Kyseisen 117S-moottorin hupputehoksi on ilmoitettu 142 kN. Ilman jälkipolttoa moottori yltää 86,3 kN:iin. Moottorissa on elektroninen ohjausjärjestelmä (FADEC) ja siinä ilmenee teknologiaa supercruise-ominaisuuden omaavasta AL-41F -sarjan moottorista. Joidenkin tietojen mukaan kyseisen sarjan moottoria ei käytettäisi Su-35:n moottorin perustana sen jäädessä vain venäläisten omaan konetuotantoon. Alustavat tiedot moottorista kertovat sen perustuvan AL-41FU -sarjaan [25, 77].

Su-27SM -koneen modernisoinnissa perusversion N-001 -tutkaa ei vaihdettu kustannussyistä uuteen. Sen sijaan koneeseen asennettiin perusversion tutkasta modifioitu N-001V -versio. Näin koneen kokonaiskustannukset pysyivät mahdollisimman alhaalla, aivan kuten silloinen ilmavoimien komentaja Vladimir Mikhailov oli linjannut. Modifioinnin myötä tutkan tietokone pystyy prosessoimaan dataa nopeammin mahdollista näin uusien ilmasta-ilmaan- ja ilmasta-maahan tehtävien toteuttamisen. Tutka tukee muun muassa aktiivisia tutkaohjattavia ilmasta-ilmaan ohjuksia (Beyond Visual Range). Lähteiden mukaan N-001V -tutka kykenee kahden yhtäaikaisen ilmamaalin lukitsemiseen. Ilmasta-maahan toimintamoodissa tutkan on todettu kykenevän maanpinnan kartoittamiseen, liikkuvan maalin ilmaisuun ja maalinosoittamiseen uusille täsmäaseille. Tutka pystyy havaitsemaan maakohteita sadan kilometrin päästä, suuren merikohteen 350 km:n päästä ja pienen aluksen 120 km:n päästä. Ilmassa tutka pystyy havaitsemaan kohteen 135–150 km:n päästä [42, 48, 53].

Su-35:ssä on Tikhomirov NIIP Irbis-E -tutka. Kyseessä on hybriditutka, jonka antennia voidaan ohjata sekä elektronisesti että mekaanisesti. Elektronisesti tutkan antennia voidaan keilaata kuudenkymmenen asteen kulmassa sekä vaaka- että pystytasossa. Suurempien kulmien keilaaminen voidaan saavuttaa mekaanisesti. Tuloksena tutka pystyy havaitsemaan lähetteen



vaakatasossa 120 asteen kulmalla [77]. Suurin muutos tutkassa on EGSP-27 -lähetin, jossa yksittäinen 7 kW:n huipputehon tuottava kulkuaaltoputki on korvattu kahdella 10 kW:n kulkuaaltoputkella muodostaen jopa 20 kW:n huipputehon [25]. Track-while-scan -moodissa (havaittujen maalien seuranta ja taistelutilan valvonta) valmistaja on todennut tutkan kykenevän havaitsemaan ja seuraamaan jopa kolmeakymmentä ilmakohdetta ja ampumaan samanaikaisesti kahdeksaa niistä käyttäen R-77 -ilmataisteluojusta. Valmistaja on todennut Irbis-E -tutkan havaitsevan edessä olevan ilmakohteen (tutkapoikkipinta-ala  $3\text{ m}^2$ ) jopa neljän sadan kilometrin etäisyydeltä. Tutka on suunniteltu havaitsemaan todella pienen tutkapoikkipinta-alan kohteita ja sen on ilmoitettu havaitsevan lähestyvä  $0,01\text{ m}^2$  kohde jopa yhdeksänkymmenen kilometrin etäisyydeltä. Tutkaa täydentää päivitetty IRST/laser-sensori, jolla on väitetty olevan kuvauskyky [25, 77].

Su-27SM -koneen taistelutehokkuutta on nostettu uuden ohjaamon järjestelmien myötä sekä päivitettyjen ECM- (Electronic CounterMeasures) ja IRCM-järjestelmien (InfraRed CounterMeasures) myötä, jotka kasvattavat selviytymisastetta vihollisen ilmapuolustusjärjestelmien vaikutuspiirissä [41]. Asejärjestelmien osana on myös passiivinen IRST-laite (Infra-Red Search and Tracking), jonka avulla voidaan seurata maamaaleja kymmenen ja ilmamaaleja kahdeksan kilometrin etäisyydeltä. Laseretäisyysmittarin sisältävällä järjestelmällä voidaan antaa myös tarvittava valaisu laserhakuiselle ohjukselle [82].

Myös koneen ohjaamoa on modernisoitu. Su-27SM -koneessa on ”lasiohjaamo” eli nestekidenäytöllinen paneeli, jossa on kaksi isoa näyttölaitetta, yksi pienempi monitoiminäyttö sekä HUD-järjestelmä (Head-Up Display). Koneessa on myös uusi vastaanotin satelliittinavigointiin, joka takaa tarkemman navigoinnin sekä mahdollistaa nopeamman tiedonsiirron. Su-27SM -koneessa on uusi kommunikaatiojärjestelmä sekä täysin digitaalinen lennonhallintajärjestelmä [48, 93].

Su-35:n uudistettu avioniikka sisältää pitkän kantaman ja salatun intra-flight datalinkin. Linkissä on korkea häirinnänsieto. Koneen avioniikka on integroitu GLONASS-järjestelmään, joka mahdollistaa tarkemman navigoinnin ja digitaalisten karttojen hyväksikäytön [25].

Su-27SM -konetta ja pilottia suojaa päivitetty itsepuolustuskokonaisuus, johon kuuluu L150 Pastel ELINT-järjestelmä (Electronic Intelligence). Kyseinen järjestelmä ottaa konetta maa-laavan tutkan tarkkailuun antaen pilotille varoituksia sekä tarjoten kohdeinformaatiota tutkasäteilyyn hakeutuvan Kh-31P -ohjuksen hakupäälle. Lisäksi kokonaisuuteen kuuluu L175 Khibiny-häirintäjärjestelmä sekä heitteet [42, 53, 93].

Su-35:n ELSO-asusteeseen on väitetty kuuluvan uudempi Khibiny M-häirintäjärjestelmä. Se on suunniteltu erityisesti tarjoamaan pitkän kantaman kohdedataa säteilyä lähettävistä ilma- ja maakohteista, joita järjestelmä havaitsee ja seuraa passiivisesti. Järjestelmä on suunniteltu toimimaan yhdessä tutkasäteilyyn hakeutuvien ohjusten (Kh-31P -, R-27P - ja R-77P - ohjukset) kanssa. Su-35:n puolustusjärjestelmä (Electronic Warfare Self Protection) koostuu omasuojalaitteista, jotka ilmoittavat koneen ollessa viholliskoneen tutka- tai laservalaisussa (Laser Warning Receiver) sekä paikantaa vihollisohjuksen ilmoittaen sen suunnan (Missile Approach Warning System) [25, 77].

Su-27SM -koneen ilmasta-ilmaan - ja ilmasta-maahan -asehallintajärjestelmät mahdollistavat uusimpien aseiden käytön, lisäten koneen tuhovoimaa. Su-27SM -koneisiin asennettu ilmasta-maahan asehallintajärjestelmä SUV-VEP1 on asennettu myös Su-27 -koneen vientiversioon Su-27SKM. Molempiin koneisiin oleellisena kuuluu myös SUV-V -asehallintajärjestelmä, joka kasvattaa selvästi tulitehoa ilmasta-ilmaan moodissa sekä mahdollistaa yhteensopivuuden R-77 -ohjukseen. Su-27SM -koneisiin voidaan asentaa elektro-optinen sensori mahdollistaen laserohjattavien ohjusten käytön. Kyseinen sensori asennetaan koneen siipiripustimeen. Koneeseen voidaan asentaa myös ulkoinen häirintäsäiliö, jolloin Su-27SM voi toteuttaa saatto-/taustahäirintää (Stand-off jamming) [42, 53, 93].

Su-27SM -koneen modernisointi on lisännyt selvästi taistelutehokkuutta ilmasta-ilmaan- ja ilmasta-maahan tehtävissä. Kone kykenee kuljettamaan ja laukaisemaan uusimpia ilmasta-maahan aseita ja sillä on jokasään ympärivuorokautinen toimintakyky. Modernisoinnin myötä koneen ilmasta-maahan aseistukseen kuuluvat uutena muun muassa seuraavat rynnäkköaseet [48]:

- Kh-31A ja -P (P-versio on tutkasäteilyyn hakeutuva, kantama 110 km)
- Kh-35U (Merimaaliohjus, kantama 130 km)
- Kh-59M (TV-ohjattava, kantama +250 km)
- Kh-29T, -TE ja -L (TV- ja laserohjaus, kantama 8-12 km)

Aikaisempien pommien lisäksi koneeseen voidaan ripustaa joko yksi kappale KAB-1500Kr/L pommi tai neljä kappaletta KAB-500Kr/L tunkeuma/laserohjattavia pommeja. Koneen ilmatäisteluaseistukseen kuuluvat nykyaikaiset aktiiviset tutkaohjattavat keskipitkän kantaman R-77 - ja -77M -ilmataisteluohjukset (6 kpl) [48]. Su-27SM:n aseistus on esitetty liitteessä 14.

Su-35:n asevalikoimaan kuuluu edellä mainituiden lentokoneaseiden lisäksi R-172 -ohjus, laser-ohjattava LGB-250 -pommi sekä seuraavat risteilyohjukset [25]:

- Kh-41/SS-N-22 Suburn
- Kh-61/SS-N-26 Yakhont
- ilmasta laukaistava versio 3M54/SS-N-27 Sizzler -ohjuksesta

Su-35 -malliin voidaan asentaa ulkoinen Sapsan E FLIR/laser-säiliö maakohteiden valaisuun. Kaiken kaikkiaan konemalli voi kantaa kahdeksantuhatta kiloa lentokoneaseita 12 ripustimessa [25, 77]. Koneen aseistus on esitetty liitteessä 14.

### 5.3 MiG-35

Jo pitkään Sukhoi-tehtaan varjossa ollut Mikojan teki radikaalin muutoksen tuotannossaan alkaen valmistaa pelkkien ilmataistelukoneiden asemesta myös monitoimihävittäjiä. MiG-35 (MiG-29M OVT) on tehtaan modernein versio MiG-29 perusrungosta. Kone on erittäin ketterä ja liikkuva monitoimihävittäjä, joka on kehitetty MiG-29M/M2 -mallista. Kehitys- ja suunnittelutyö perustuu osaltaan myös Intialle toimitettuun MiG-29K/KUB -versioon sekä suihkuvirtausta suuntaavan moottorin kehitysalustana käytettyyn MiG-29OVT -versioon. MiG-35 -koneesta on myös kaksipaikkainen MiG-35D -malli. MiG-yhtiö suoritti koneen ensimmäisen kansainvälisen esiintymisen Aero India-lentonäytöksessä vuonna 2007. Aikaisemmin koneen prototyyppi oli näytteillä lentonäytöksissä Venäjällä ja Isossa-Britanniassa vuonna 2005 [29, 91].

#### 5.3.1 Kehityshistoria

1980-luvun puolessa välissä Mikoyan-yhtiö suuntasi kehitys- ja tutkimustyötä MiG-29 -perusversioon tarkoituksena vastata silloisen Neuvostoliiton länsirintaman tarpeisiin. Kehitystyön tuloksena syntyivät yksi- ja kaksipaikkaiset versiot (MiG-29M ja -M2). Koko ohjelma kärsi rahoituksen puutteesta, joka johti Venäjän ilmavoimien päätökseen panostaa vain Sukhoi-yhtiöön ja sen tuotantoon. Mikoyan-yhtiön kone nimettiin MiG-33:ksi, myöhemmin 1990-luvulla koneen vientiversio sai nimekseen MiG-29ME. Kaikkiaan MiG-29M -mallia rakennettiin kuusi kappaletta vuoteen 1991 mennessä. Kyseisiä kappaleita modernisoitiin uusilla komponenteilla ja vuonna 2003 yhteen versioon asennettiin koeversio suihkuvirtausta suuntaavasta (OVT = Otklonyayemyy Vektor Tyaghi – Thrust vector control) moottorista, josta aikanaan tuli MiG-29OVT -kehitysalusta [41].

MiG-29OVT -mallin kehitys alkoi 1990-luvun puolivälissä, jolloin NPO Klimov aloitti oman TVC-konseptin (Thrust-Vector-Control) kehittämisen kilpailevan Lyul'ka-Saturn-yhtiön AL-31FP -ohivirtausmoottorin rinnalle, joka oli kehitelty Su-27 perheen koneille. Sekä kotimaassa, että ulkomailla tapahtuneen tutkimustyön tuloksena NPO Klimov-yhtiön insinöörit päätyivät vaihtoehtoon, jossa suunnataan moottorin suuttimien ulosvirtausta. Uudistus helpotti suunnittelua ja pienensi ulosvirtausaikaa sekä ennen kaikkea mahdollisti moottorin suuttimien poikkeuttamisen mihin suuntaan tahansa. Ensimmäinen KLIVT-suuttimen prototyyppi valmistui vuoden 1997 alussa ja moottorin testaukset oli määrä aloittaa vielä samana vuonna. Taloudellisista ongelmista johtuen testaukset päästiin aloittamaan vasta vuonna 2003. Samana vuonna yhteen MiG-29M -prototyyppiin asennettiin RD-133 -moottori, joka mahdollisti moottorin ja koneen ensilennon. Elokuuhun 2005 mennessä testikoneella oli suoritettu viisikymmentä lentoa, joissa testattiin TVC-järjestelmän toimivuutta sekä suoritettiin Fly-by-wire-järjestelmän integrointi. MAKS 2005-näytöksessä MiG-yhtiön pääsuunnittelija Nikolay N. Boontin totesi siuhkuvirtausta suuntaavan moottorin mahdollistavan uuden MiG-koneen sekä täysin uusien lento-ominaisuuksien toteuttamisen niin normaalissa lentomoodissa kuin suurta ketteryyttä ja liikkuvuutta tarvittavissa moodeissa [41, 42].

MiG-29OVT -alustassa testattu kääntyvillä suuttimilla varustettu moottori on integroitavissa eri MiG-vientiversioihin pyrkimyksenä löytää optimaalinen ratkaisu ja kyky tyydyttää eri asiakasosapuolten tarpeet.

MiG-29K on merivoimien käyttöön suunniteltu monitoimihävittäjä, jonka kehitysohjelma pysähtyi rahoitusvaikeuksista johtuen 1990-luvulla. Vuonna 2002 ohjelma käynnistettiin uudelleen. Vuosien 2002 ja 2005 välisenä aikana konetyypillä lennettiin yli kuusisataa koe- ja testilentoa ja lentoaika pidentyi MiG-29 -perusversioon nähden lähes kaksinkertaiseksi. Koneesta on valmistettu myös kaksipaikkainen KUB-versio, jonka on ominaispiirteiltään identtinen yksipaikkaisen K-version kanssa [41, 65].

MiG-35 ja MiG-35D muodostavat yhdessä MiG-29M -, -M2 -versioiden sekä MiG-29K - ja -KUB -versioiden kanssa integroidun universaalin MiG-perheen.

### 5.3.2 Ominaisuudet

MiG-35:ssä on kaksi savutonta Klimov RD-33MK -moottoria, joiden työntövoimaa on saatu kasvatettua perusmalliin verrattuna. Moottori on RD-33 -mallin uusin versio ja sillä oli tarkoitus varustaa MiG-29K/KUB -versiot. Moottoriin on kehitetty järjestelmä, joka vähentää havaittavuutta infrapuna- ja näkyvän valon alueella. MiG-35 -koneen moottoriin on asennetta-

vissa kääntyvät suuttimet (OVT), joiden testialustana käytettiin MiG-29OVT -mallia. Kyseinen moottorin lisäosa kasvattaa koneen liikkuvuutta ja ketteryyttä. Kehitysohjelman myötä RD-33 -moottoria kehitettiin ja parannettiin. Tämä mahdollisti moottorin suuttimien kääntymisen 360-astetta. Erään lähteen mukaan [67] moottoria voidaan suunnata  $\pm 15$  astetta vertikaalisesti ja  $\pm 8$  astetta horisontaalisesti, samalla toisen lähteen ilmoittaessa [41] moottorin suuntauksen  $\pm 15$  astetta mihin tahansa haluttuun suuntaan. Joka tapauksessa RD-33OVT -moottori on kehittynein suihkuvirtausta suuntaava moottori, sillä venäläisessä Su-30MKI -koneessa ja yhdysvaltalaisessa F-22A Raptorissa moottori on kaksikulotteinen suunnaten suihkuvirtausta vain ylös tai alas. Vielä kehitysvaiheessa moottori kulki nimellä RD-133, mutta ohjelman edetessä se muuttui nykyiseksi RD-33:ksi [41].

Kehitystyön yhteydessä RD-33 -moottoriin asennettiin elektroninen ohjausjärjestelmä (FADEC). Uudistusten myötä moottorin teho nousi seitsemän prosenttia MiG-29:n moottoriin verrattuna, johtuen osaksi myös moderneista materiaaleista. Kehittyneen moottorin myötä MiG-35 pystyy lentämään matalalla alhaisilla nopeuksilla, ilman kohtauskulman asettamia rajoituksia [66]. Kehitteillä on myös viidennen sukupolven moottori RD-333, jonka olisi tarkoitus olla lähes 12 prosenttia tehokkaampi kuin RD-33. Joidenkin tietojen mukaan uuden viidennen sukupolven moottorin testit pystyttäisiin aloittamaan 2000-luvun loppupuolella [68]. Moottorin kehitystyöstä vastanneen NPO Klimov-yhtiön mukaan RD-33 -moottori voitaisiin sovittaa myös muihin konetyyppeihin, mukaan lukien länsimaiset konetyypit. Edelleen yhtiön mukaan MiG-29 eri variaatiot uuden moottorin myötä saattaisivat löytää markkina-arvoa niin Venäjällä kuin ulkomaillakin [41, 42]. Tällä hetkellä MiG-35 on jo ottamassa osaa Intian ilmavoimien tarjouskilpailuun 126 uudesta monitoimikoneesta [67]. Mikäli uusi viidennen sukupolven moottori, sen kehitystyö ja aikataulu pitävät paikkaansa, lienee MiG-komponetilla olevan kilpailuvaltti uuden venäläisen sukupolven hävittäjän suunnittelu- ja kehittämisprojektissa.

MiG-35:ssä on ensimmäinen venäläinen aktiivinen elektronisesti keilaava Zhuk-AE -monitoimitutka (Active Electronically Scanned Array), jonka suunnittelusta ja kehityksestä on vastannut Phazotron NIIR-yhtiö. Zhuk-AE on aikaisempien Zhuk-tutkien johdannainen, jossa on yhdistetty useista AESA-kehitysprojekteista ja -ohjelmista saadut opit sekä tulokset. Tutka pystyy tarkkailemaan ja lukkiutumaan ilma-, maa- ja merimaaleihin. Tutkan pisin havaitsemisetaisyys ilmamaaleihin on 130 kilometriä. Tutkan on ilmoitettu havaitsevan koneesta loitonevan kohteen viidenkymmenen kilometrin päästä. Tutkan on lisäksi todettu pystyvän valvomaan kolmeakymmentä ilmakohdetta track-while-scan -moodissa (havaittujen maalien seuranta ja taistelutilan valvonta) ja lukittumaan yhtäaikaaisesti kuuteen maaliin hyökkäys-

moodissa. Zhuk-AE kasvattaa MiG-kaluston suorituskykyä verrattuna esimerkiksi aikaisempiin modernisoituihin MiG-variaatioihin asennettuun Zhuk-ME -tutkaan. Kyseisen hybriditutkan antennia ohjattiin vaakatasossa mekaanisesti ja pystytasossa elektronisesti. Zhuk-AE -monitoimitutkassa sekä vaakatason- että pystytason keilaus toteutuu elektronisesti. AESA-tutkan myötä mekaanisesti keilaavan tutkan perusongelma, hitausmomentista johtuvat rajoitukset keilan suuntaamisessa, ei rajoita kohteiden tutkaseurantaa. Sen huipputeho on kilpailukykyinen kaikkien Flanker-koneiden tutkien kanssa ja Zhuk-AE asennettuna modernisoituun MiG-alustaan pystyy parempaan suorituskykyyn kuin perusmallin F-16 - ja F/A-18 -konfiguraatiot [80, 81].

Zhuk-AE -tutka mahdollistaa toiminnan uusimmilla venäläisillä lentokoneaseilla. Se pystyy erottamaan ja laskemaan lähellä lentäviä kohteita ja tunnistamaan niitä tunnistaiden avulla. Lähitaistelumoodi mahdollistaa järjestelmän optimaalisen käytön. Ilma- ja maamoodissa tutka tukee liikkuvien kohteiden etäisyysmittausta, kartoittamista ja seuraamista. SAR-ominaisuus tukee maanpinnan kartoittamista ja navigointia. Tutkassa on lisäksi meri/pintamoodi, joka mahdollistaa tehokkaan rynnäkkötoiminnan. Maakohteiden havaitsemisetäisyydeksi on ilmoitettu kaksisataa kilometriä [81]. Erään lähteen mukaan [24] Zhuk-AE:n on väitetty edustavan parannusta kaikilla tasoilla aikaisempiin Zhuk-variaatioihin nähden.

MiG-35:ssä ilmenee uusi elektro-optinen OLS -järjestelmä, joka yhdistää IRST-, TV- ja laser-yksiköt sekä lämpökuvan yhdeksi kohdetarkennus- ja tunnistusjärjestelmäksi. Kokonaisuus havaitsee, tunnistaa ja seuraa automaattisesti useita kohteita. Järjestelmä laskee kohteiden koordinaatit ja tarjoaa reaaliaikaista kohdedataa asehallintajärjestelmälle. Kasvaneen havaitsemisetäisyyden lisäksi yksi järjestelmä havaitsee ilmamaalit ja ilmoittaa niiden koordinaatit toisen järjestelmän määrittäessä maakohteita laser- ja TV-ohjatuille aseille reaaliaikaisesti. Lisäksi järjestelmä tarjoaa navigointi-informaatiota. Optroniset sensorit mahdollistavat koneen optimaalisen käytön siten, että ilmaisu vihosten eri järjestelmille ei synny [24, 83]. Kyseinen järjestelmä mahdollistaa paremman suorituskyvyn vaikeissa sää- ja valaistusolosuhteissa sekä vaikuttamisen viholliseen visuaalisen näköetäisyyden ulkopuolella (Beyond Visual Range). OLS-järjestelmä on integroitu kypärätähtäimeen (HMD). Kypärätähtäin siirtää kohdedataa toisille kohdepaikannusjärjestelmille ja ohjusten hakupäille. Maakohteiden tähtäyksen tehokkuutta voidaan kasvattaa edelleen koneeseen asennettavalla ulkoisella säiliöllä, jossa on lasermaalinosoituslaite yhdistettynä IRST-järjestelmään tai vastaavaan lämpöhakujärjestelmään [24]. Kyseinen säiliö kasvattaa tähtäystehokkuutta erityisesti yöllä. OLS-sensori koneen keulassa korvaa aikaisemmissa malleissa olleen IRST-järjestelmän, kun oikean ilmanottoaukon luona sijaitseva toinen OLS-sensori palvelee maakohteiden ilmaisussa.

MiG-35:n puolustusjärjestelmä (Electronic Warfare Self Protection) varoittaa uhkaavista vaaroista aktivoiden ECM-järjestelmän mahdollisiin vastatoimenpiteisiin. Omasuojalaitteisiin kuuluu mahdollisuus aktivoida toimenpiteet niin lämpö- kuin tutkaharhautukseen. Omasuojalaitteet ilmoittavat koneen ollessa viholliskoneen tutka- tai laservalaisussa (Laser Warning Receiver) sekä paikantavat vihollisohjuksen ilmoittaen sen suunnan (Missile Approach Warning System) [24].

Koneen rakennetta on muutettu ohjaamon ja siipien osalta. Ohjaamon näkyvyyttä on parannettu nostamalla istuinta sekä muuttamalla koneen keulaa. Näiden uudistusten myötä koneeseen saatiin lisää tilaa avioniikka- ja tutkapäivityksille. Koneen materiaalina on käytetty komposiittimateriaalien yhdistelmää, joka on mahdollistanut teho-paino-suhteen kasvattamisen. Rungon materiaalista 15 prosenttia koostuu kyseisestä materiaalista [89]. Koneen siipien etureunaa on jatkettu (Leading Edge Root Extension) aikaisempiin MiG-versioihin nähden, joka yhdessä koneen ”selän” kasvattamisen myötä on lisännyt sisäisen polttoaineen määrää. MiG-35 pystyy tukeutumaan ilmatankkaukseen lisätyn tankkausjärjestelmän (Aerial Refuelling Probe ja In-Flight Refuelling) myötä. Lisäksi kone pystyy toimimaan tankkerina toisille koneille (Plumbing for Buddy Refuelling) [69]. Sisäisten polttonestesäiliöiden kasvattamisen myötä koneen toimintamatka kasvoi kahteen tuhanteen kilometriin. Koneeseen asennettavien ulkoisten säiliöiden myötä toimintamatka on 3200 kilometriä ja ilmatankkauksella jopa kuusi tuhatta kilometriä. Lentorungon modifioinnilla sen käytettävyyttä kyettiin nostamaan vaatimattomasta 2500 tunnista länsimaisten koneiden tasolle kuuteen tuhanteen tuntiin [73].

Koneen digitaalisessa ”lasiohjaamossa” on kolme monitoimista LCD-näyttöä (Liquid-Crystal Display) sekä lisänäyttö OLS-järjestelmälle. Kaksipaikkaisessa MiG-35D:ssä on neljä LCD-näyttöä. MiG-35:n liikkuvuutta ja hallintaa parantaa 3-kanavainen fly-by-wire -lennonhallintajärjestelmä. Koneessa käytetään COTS-tietokoneteknologiaa sekä nopean tiedonsiirron mahdollistavia tiedonsiirtoväyliä. Koneen suunnittelussa on otettu huomioon asiakkaiden myötä laajeneva toimintaympäristö. Koneen rungon ja pääjärjestelmien suunnittelussa ja tuotannossa on käytetty ”anti-corrosion protection” -teknologiaa, joka mahdollistaa koneen pitkän käyttöiän myös lentotukialus käytössä kuin myös trooppisissa ja kosteissa olosuhteissa. Myös avioniikan, moottorin ja eri järjestelmien luotettavuutta on parannettu. MiG-35:n kustannuksia lentotuntia kohti on valmistajan mukaan saatu vähennettyä jopa 2,5-kertaisesti alkuperäiseen MiG-29:n verrattuna [69]. Kaiken kaikkiaan modernisoitujen MiG-29M, -M2 - ja -M OVT -versioiden odotetaan palvelevan jopa vuoteen 2040 saakka [72].

AESA-tutka ja modernisoitu sensoriasuste mahdollistavat MiG-35:n toiminnan venäläisillä ilmataisteluohjuksilla ja erilaisilla pommeilla. Lisäksi koneen aseistuksena on lentokoneaseita, joita ei ole aikaisemmin tarjottu vientiin. Mukana on pitkän kantaman ilmasta-maahan aseita, joilla pystytään vaikuttamaan vastustajan maakohteisiin ilmatorjunnan kantaman ulkopuolelta. MiG-35:n asekuormaa on kasvatettu yhdeksän ulkoisen ripustimen myötä [69]. Koneen aseistus on esitetty liitteessä 15.

MiG-yhtiön insinöörit ovat kehittäneet osaltaan myös harjoitusolosuhteita luomalla simulaattori-ympäristön, jolla ohjaajat pystytään helpommin sopeuttamaan uuteen konekalustoon. Simulaattorit tarjoavat interaktiivisen tietokonepohjaisen harjoitusjärjestelmän sekä simulaatioita erilaisiin tehtäviin muuttuvissa toimintaympäristöissä.

#### 5.4 Koonnos

Venäjän ilmavoimissa tapahtuneet viimeaikaiset uudistukset ovat kohdistuneet vanhan konekaluston modernisointeihin. Rahoituksen puutteellisuudesta johtuen uusien koneiden hankinta ei ole ollut mahdollista. Venäjällä tultaneen tulevaisuudessa vielä pitkään käyttämään tämän päivän tekniikkaan perustuvia ratkaisuja. Modernisoinneissa ja uusien koneiden suunnittelussa on keskitytty pitkälti monitoimikoneiden kehittämiseen. Oleellista teknologia kehityksen osalta on erityisesti suunnistukseen, maalin paikantamiseen ja osoitukseen liittyvän teknologian lisääntyvä käyttö myös erilaisissa siviilisovelluksissa (COTS), joka pienentää komponenttien hintoja ja tekee niiden hankkimisen sen vuoksi helpommaksi.

Venäjän ilmavoimien konekaluston kokonaismäärät tulevaisuudessa tulevat pienenemään. Modernisointien myötä vanhoista malleista on tehty selvästi monikäyttöisempiä monitoimikoneita. Esimerkiksi MiG-35 ja Su-27SM pystyvät toimimaan huomattavasti laajemmassa tehtäväkentässä edeltäjiinsä verrattuna. Modernisointien myötä uudet konemallit pystyvät tarkempaan maalinilmaisuun ja -osoittamiseen kehittyneiden aseenhallintajärjestelmien myötä. Uusien monitoimihävittäjien yhteensopivuus uusimpiin venäläisiin asejärjestelmiin kasvattavat niiden suorituskykyä. Kehittynyt avioniikka mahdollistaa laadukkaamman toiminnan vaikeissa sää- ja valaistusolosuhteissa sekä kasvattaa koneiden tilannetietoisuutta.

Venäjä on suunnannut suuria voimavaroja sen uusien ilma-aseiden suunnitteluun, pyrkimyksenä vastata tulevaisuuden uhiin ja haasteisiin. Tästä esimerkkinä toimivat edellä mainitut vanhenevien konemallien modernisoinnit sekä uuden sukupolven hävittäjäkonsepti PAK-FA. Uuden sukupolven monitoimihävittäjän suunnittelussa ilmenee täsmäaseiden ja häiveteknologian kehittely. Kaiken kaikkiaan suuntaus kyseisessä projektissa on selvästi länsipainottei-



sempi kuin aikaisemmissa konemalleissa vuosikymmenten ajalta. Uudessa venäläisessä suunnittelussa pyritään selvästi vastaamaan uusiin uhkiin, muuttuneeseen ilmasodan kuvaan sekä länsimaiseen ja ennen kaikkea yhdysvaltalaiseen teknologian kehitykseen. PAK-FA -konseptin kehitys- ja suunnittelutyössä ilmenee vahvasti uuden sukupolven hävittäjän toivotut ominaisuudet ja niiden esiin tuominen. Venäjän pyrkimyksenä on kasvattaa edelleen ilma-komponentin kykyä toimia kaikissa sää- ja valaistusolosuhteissa sekä toimia niin perinteisillä ilma-aseilla kuin myös uusimmilla venäläisillä asejärjestelmillä. Lisäksi uuden monitoimihävittäjän suojaksi pyritään kehittämään aktiivisia ja passiivisia omasuojalaitteita ja -järjestelmiä. Uusissa modernisoinneissa on panostettu myös automatisoituihin järjestelmiin ja toimintoihin tilannetietoisuuden ja selviytymisasteen kasvattamiseksi.

Uuden sukupolven monitoimihävittäjän suunnittelu ja tuotanto on viivästynyt useita kertoja. Asiaan ovat vaikuttaneet monet tekijät, suurimpana rahoitus. Lisäksi projektiin vaikuttaa selvästi myös paine tuottaa uuden sukupolven hävittäjä länsimaisten ja yhdysvaltalaisen hävittäjien rinnalle. Venäjän painetta kasvattaa osaltaan myös suurvalta-asema niin poliittisena- kuin sotilaallisena vaikuttajana sekä viimeaikaiset kehityssuuntaukset maailmanpoliittisessa tilanteessa. Venäjän uuden sukupolven hävittäjäprojektin pysyessä aikataulussaan pystyy se vastaamaan nykypäivän ilmasodan haasteisiin. Vaikka venäläinen ilmailuteollisuus on selvästi yhdysvaltalaista osaamista jäljessä, säilyy sen aikaisemmilta vuosikymmeniltä saavutettu huippuosaaminen omien tutkimus- ja kehittämisprojektien myötä korkeana myös tulevaisuudessa.

Silti suurin ongelma Venäjän sotilasilmailuteollisuudessa on rahan puute. Modernisoitujen koneiden rahoitus on varsin rajoittunutta. Sen uusimmat monitoimihävittäjät lienevät vielä vuosien päässä operatiivisesta käytöstä. Teollisuus ei kykene tärkeiden tuotteiden massamaisiin tuotantoihin ja uusin elektroniikka on asetettava vientiin. Lisäksi tällä hetkellä toteutettavat modernisoinnit on valittu halvimmasta päästä.

## **6. YHDYSVALTALAISEN JA VENÄLÄISEN KALUSTON VERTAILU**

### **6.1 Häiveteknologia**

Häivetekniikalla ymmärretään usein kohteen näkymättömyytenä tutkassa. Esimerkiksi hävittäjää keilaavan tutkan vastaanottimelle heijastamaa tutkasäteilyä voidaan minimoida periaatteessa kahdella tapaa: heijastuksen sisältämää energiaa voidaan vähentää tai energia voidaan

hajottaa useampaan suuntaan siten, että tutkalle palaava signaali on mahdollisimman heikko. Nämä toimenpiteet pienentävät koneen tutkapoikkipinta-alaa (Radar Cross Section) [82].

Hävittäjän tutkapoikkipinta-alaa voidaan pienentää rungon muotoilulla sekä käytettävien materiaalien ja pinnoitteiden valinnalla. Kuvassa 5 on esitetty mallinnus, jossa ilmenee niitä tekijöitä, joilla tutkapoikkipinta-alaa ja sitä myötä havaitsemistodennäköisyyttä voidaan pienentää [82].

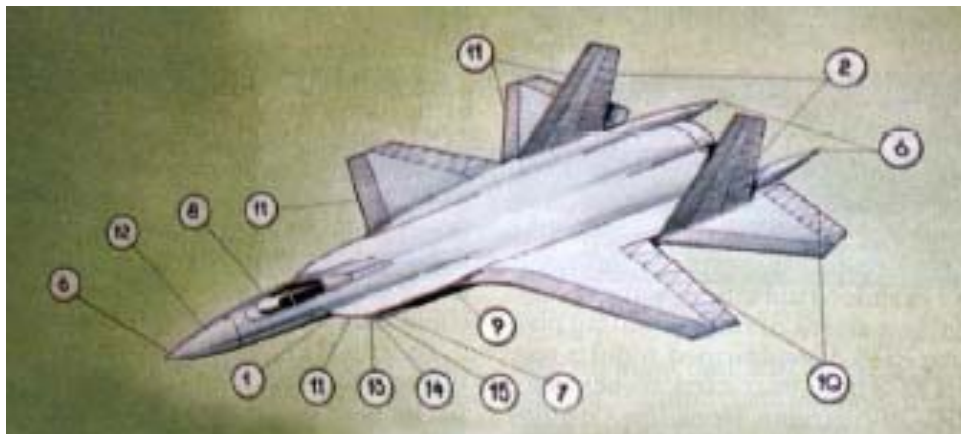


Kuva 5. Tutkapoikkipinta-alaan vaikuttavia tekijöitä (Tekijän piirtämän alkuperäisen kuvan pohjalta [82]).

Tällä hetkellä teknologisesti kehittyneimpien monitoimihävittäjien suunnittelussa ja valmistuksessa häiveominaisuudet ja -teknologia ovat nousseet suureen rooliin. Tämä on havaittavissa myös F-22A Raptorissa, jossa ilmenee parhaiten kyky toimia tutkassa vaikeasti havaittavana. Häiveteknologia ilmenee myös muissa Yhdysvaltain ilmavoimien koneissa, joista tosin F-117 -pommittaja on jo poistunut palveluskäytöstä. Yhdysvallat ja sen sotilasilmavoimien teknologisuus ovatkin olleet edellä kävijöitä nimenomaan häiveteknologian saralla. Modernisoiduissa venäläisissä hävittäjissä tutkapoikkipinta-alaa on pyritty pienentämään rungon suunnittelun ja komposiittimateriaalien avulla. Missään tapauksessa ei voida kuitenkaan puhua stealth-ominaisuudesta.

Venäjällä häivetekniikan sovelluksien tutkimisesta ja kehittämisestä vastaa 2. Tieteellinen tutkimuslaitos (2. Tsentralnyj Nauchno-Issledovatelnyj Institut, TsNII). Laitos on ollut mukana negatiivisella siipikulmalla varustetun Su-47 Berkut testialustan kehitystyössä jo kymmenen vuotta. Tutkimuslaitoksen toimenkuvaan kuuluu tutkia myös ulkomaalaisten häivealustojen ominaisuuksia [82].

Häiveteknologian periaatteet ovat luonnollisista fysikaalisista ilmiöistä johtuen samanlaisia kaikkialla, joten venäläiset kehityslinjat PAK-FA -projektissa tulevat olemaan pääperiaatteiltaan samantapaisia kuin lännessä. Kuvassa 6 on teoreettinen malli 2. Tieteellisen tutkimuslaitoksen konseptista, joka osoittaa nykyistä venäläistä lähestymistapaa häiveteknologian sovelluksiin [82]:



Kuva 6. Venäläinen lähestymistapa häiveteknologian sovelluksiin [82].

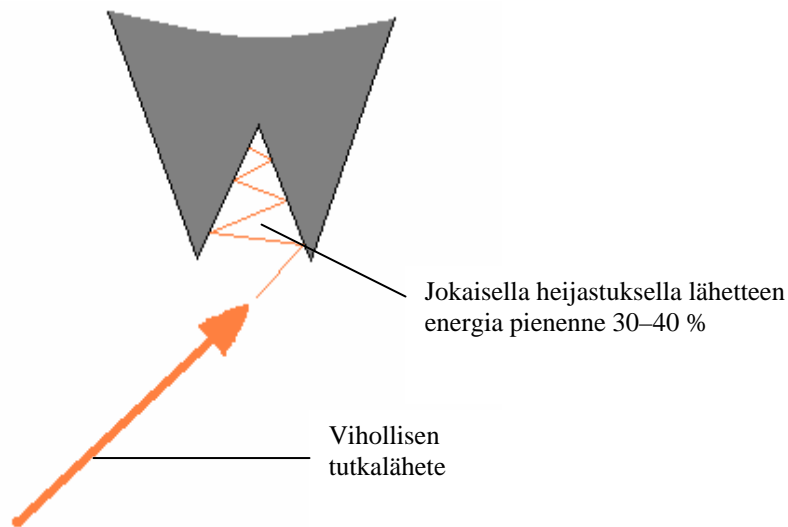
1. Rakenteelliset modifikaatiot siiven etureunassa ja rungon rakenteissa.
2. Rakenteelliset modifikaatiot sivuvakaajien etureunassa.
6. Taajuusselektiiviset materiaalit radomissa.
7. Tutkasäteilyä absorboivat materiaalit  
(Radar Absorbent Material, RAM)  
moottorin ilmanoton sisäosissa.
8. Metallinen pinnoite kuomussa.
9. RAM-pinnoitteiden käyttö rakenteellisissa radiotaajuuksia heijastavissa pinnoissa.
10. RAM-pinnoitteiden käyttö siiven jättöpinnoilla.
11. RAM-pinnoitteiden käyttö siiven etureunoissa.
12. Plasmageneraattori tutkalle.
13. Ilmanottokanavan osastoiminen.
14. Ilmanottoaukon suulle ritilä pienentämään radiotaajuisia heijastuksia.
15. Ahtimen siipien päällystäminen RAM-pinnoitteilla.

Merkille pantavaa yllä olevasta luettelosta on plasman käyttö tutkaheijastusten pienentämiseksi. Sukhoi-yhtiön kanssa työskentelevät tutkijat ovat havainneet, että tutkan eteen voidaan sijoittaa elektroninen plasmaverho estämään tutkaheijastusten syntymistä tutka-antennista ja

sen läheteistä. Koneen käyttäessä omaa tutkaansa, kytkeytyy verho pois päältä [82]. Samanlaista suunnittelua ei ole löydettyissä esimerkiksi yhdysvaltalaisessa hävittäjäsuunnittelussa.

F-22A Raptorin ja F-35:n kehitystyöhön, erityisesti häiveteknologian osalta, on käytetty paljon voimavaroja. Koneiden suunnittelussa on käytetty kokemuksia F-117A -koneesta sekä F-22A Raptorin prototyypistä YF-22:sta. Liitteessä 11 on esitetty ne muutokset, jotka F-22A Raptorin on tehty YF-22 -prototyyppiin verrattuna.

F-22 - ja F-35 -hävittäjissä suorat linjat on pyritty rikkomaan sahalaitaisella kuvioinnilla, joka on selvimmin havaittavissa koneen kaikissa luukuissa (asekuilu, laskutelineet) sekä moottorin eri osissa. Saha- tai W-kuvioinnilla pyritään vähentämään tutkan läheteestä muodostuvaa heijastetta. W-kuviointi pakottaa tulevan lähetteen heijastumaan toistuvasti, jolloin lähetteen kokonaisenergia pienenee jokaisessa heijastuksessa. Myös venäläisessä häivesuunnittelussa on samanlaisia ilmentymiä. Parhaiten se tulee esiin MiG -yhtiön suunnittelema ”Skat” -miehittämättömästä taisteluilma-aluksesta (Unmanned Combat Air Vehicle). Kuvassa 7 on esitetty yksinkertainen mallinnus tutkalähetteen käyttäytymisestä W-kuvioinnissa [12, 44].



Kuva 7. Tutkalähetteen käyttäytyminen W-kuvioinnissa [12, 44].

F-22 - ja F-35 -hävittäjien moottoreissa häivetekniikka ilmenee materiaalissa sekä muotoilussa. Moottorin suutin on valmistettu keraamisesta materiaalista, jonka lämpöheijaste on tavallisempia materiaaleja matalampi. Moottorin muotoilussa ilmenee myös W-kuviointi [44].



Kuva 8. F-22A Raptorin moottorin muotoilu [111]



Kuva 9. F-35:n häivemuotoilua [117].

Huomioitavaa on, että F-22A Raptorin häiveominaisuus on kokonaisvaltaisempi kuin F-35:n tapauksessa. F-35 on edestäpäin tarkkailtuna vaikeammin havaittavissa kuin takaa. Lisäksi sivuilta heijastuu enemmän tutkaheijasteita kuin edestä. F-22A -koneen tutkaheijaste on pyritty pitämään matalana joka puolelta tulevilta lähetteilä. F-22A Raptorin tapauksessa voidaan puhua ”overall-stealth” -ominaisuudesta. Ominaisuudesta, jonka F-35 korvaa muilla avuillaan.

## 6.2 Kustannukset

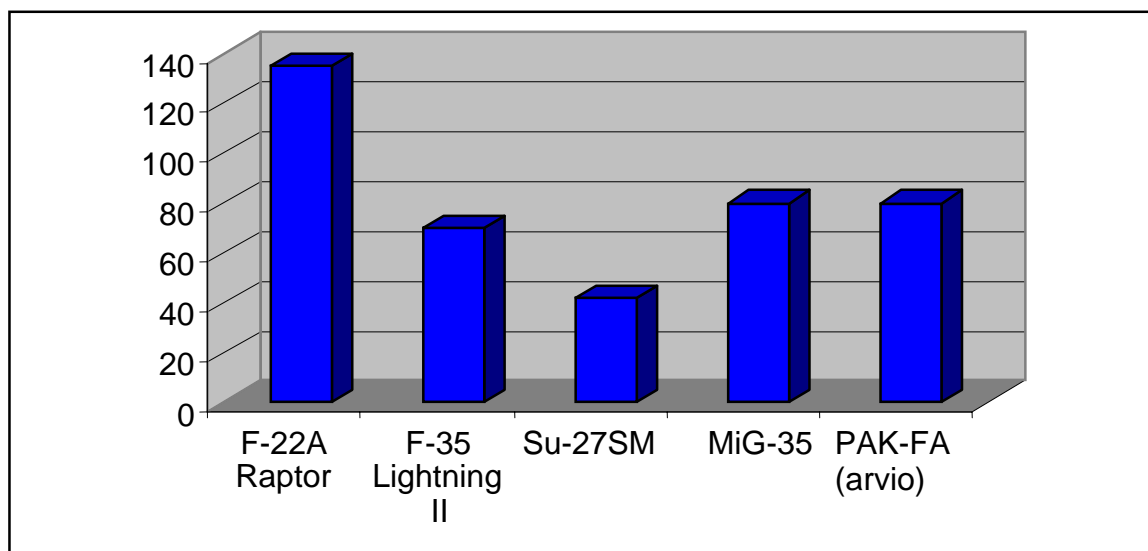
Uuden teknologian myötä sekä yhdysvaltalaisen hävittäjäprojektien, että venäläisen PAK-FA -projektin kustannusarvioita on jouduttu tarkastelemaan useita kertoja. Kustannusarvioiden muutokset ovat vaikuttaneet koneiden lopulliseen tuotantomäärään. Venäjän ilmavoimat ovatkin joutuneet tyytymään vanhan kaluston modernisointiin heikosta rahoitustilanteesta johtuen. Koko ajan parantuva rahoitustilanne on mahdollistanut PAK-FA -projektin suunnittelun tuotannosta puhumattakaan. Yhdysvaltain massiivisen sotakoneiston ongelmana on jatkuvasti kallistuva teknologia sekä puolustusbudjetin paisuminen sotatoimista ja uusista teknologia painotteisista kehitysprojekteista johtuen. Nykypäivänä suurten sotilasmahtien ongelmana onkin kustannusystävällisten järjestelmien kehittäminen ja hankinta, muuttuva sodankäynnin kuva sekä ennen kaikkea näiden kahden asian yhteensovittaminen.

Puhuttaessa uuden sotakaluston hankkimisesta, suurin siihen vaikuttava tekijä on yksittäisen järjestelmän hinta sekä ylipäättään hankkeen kokonaiskustannukset. Monikansallinen Joint Strike Fighter-projekti on pyrkinyt kehittämään monitoimihävittäjän kustannuksin, johon

myös pienemmillä valtioilla olisi varaa. Tällä hetkellä JSF-projektin kustannukset ovat nousseet ja todennäköisesti vaikutta ainakin mukana olevien valtioiden lopulliseen konetilausmäärään. Joka tapauksessa Joint Strike Fighter on selvästi halvempi kuin jo käytössä oleva F-22A Raptor, joka on yksi kalleimmista hankkeista sotilasilmailun historiassa. Yhdysvaltalaisiin nähden venäläisellä ilmailuteollisuudella on selvä etulyöntiasema tuotteiden kustannuksia tarkasteltaessa. Tietysti on huomioitava, että kolme tutkimustyössä olevaa venäläistä hävittäjää on modernisoituja.

Kahden yhdysvaltalaisen ja kolmen venäläisen monitoimihävittäjän yksikköhinnat on esitetty taulukossa 4. Yksikköhinnat on esitetty miljoonissa Yhdysvaltain dollareissa.

*Taulukko 4. Kohdevaltioiden monitoimihävittäjien hintavertailu.*

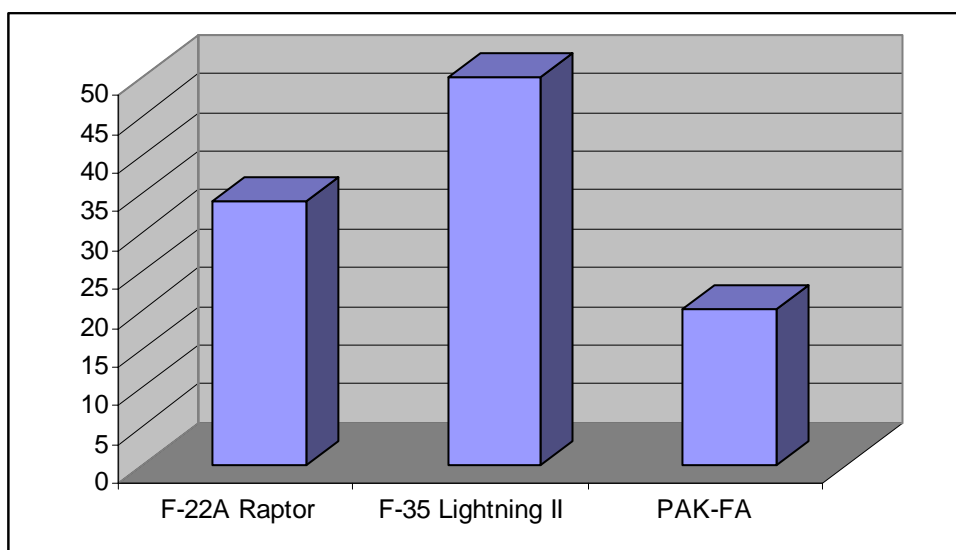


Eri hävittäjien hinnoista on esillä monenlaisia lukuja, joista osa perustuu arvioihin. Lopullinen hinta tietyillä, vielä kesken olevilla projekteilla voi vielä muuttua. F-22A Raptorin yksikköhinnaksi vuonna 2007 mainitaan 135 miljoonaa dollaria. Koko projektin hinnaksi on mainittu 34 miljardia dollaria [108]. Näin ollen yhden F-22 -koneen yksikköhinta jää selvästi maailman kalleimmaksi tituleeratun amerikkalaisen B-2 Spirit -pommikoneen huimasta 2,2 miljardin dollarin yksikköhinnasta. F-35 Lightning II -koneen yksikköhinnaksi vuonna 2008 on mainittu noin 70 miljoonaa dollaria. Arviot lopullisesta F-35:n yksikköhinnasta nousevat jopa yli sadan miljoonan. Mielenkiintoista on, että Lockheed Martin markkinoi konetta ulkomaisille hallituksille 47 miljoonan dollarin yksikköhintaan [74]. Tosin koko projektin on todettu maksavan vuoteen 2013 mennessä 50 miljardia [108]. Kyseessä on toki monikansallinen projekti, jolloin kustannukset jakaantuvat osallistujavaltioiden kesken lopulliset tilausmäärät huomioiden. Venäläisen Su-27SM -monitoimihävittäjän hinnaksi vuonna 2001 on mainittu noin 42 miljoonaa dollaria. Kiinan tekemä 38:n Su-30MKK -koneen hanke vuonna 2001

maksoi 1,6 miljardia, jolloin yhden koneen hinnaksi tulee noin 42 miljoonaa. Su-30MKK on verrattavissa Su-27SM -koneeseen [98]. Luku kuulostaa matalalta verrattaessa sitä esimerkiksi MiG-35:n yksikköhintaan 80 miljoonaan dollariin (vuonna 2007). Matalalta se kuulostaa myös verrattaessa sitä Su-27: perusmallin 35 miljoonan dollarin yksikköhintaan. MiG-35:n yksikköhinta on laskettu Intian ilmavoimien tekemästä hankinnasta, jossa se osti 126 MiG-35 -konetta 10 miljardilla dollarilla. MiG-35 on MiG-29M OVT:n vientiversio. MiG-29 -perusmallin hinnaksi on todettu 30 miljoonaa dollaria. Venäjän uuden sukupolven hävittäjä-konseptia, PAK-FA, on mainostettu edullisemmaksi vaihtoehdoksi kuin vastaavat eurooppalaiset hävittäjät. PAK-FA:n yksikköhinnaksi on mainittu 80 miljoonaa dollaria, joka ei kyseisessä vertailussa ole kilpailukykyinen. Koko PAK-FA -projektin hinnaksi on todettu 20 miljardia dollaria [108].

Taulukossa 5 on esitetty kolmen eri hävittäjähankkeen kokonaiskustannukset miljardeissa Yhdysvaltain dollareissa. Huomioitavaa on, että PAK-FA -hankkeen kustannus perustuu arvi-oon.

Taulukko 5. Kohdevaltioiden uuden sukupolven hävittäjähankkeiden kokonaiskustannukset.



### 6.3 Asejärjestelmät

Uusimpien monitoimihävittäjien asejärjestelmät koostuvat yhä teknologisoituneimmista järjestelmistä, joihin kuuluu varsinaisen aseensa lisäksi erilaisia sensoreita sekä tiedonsiirto- ja analysointijärjestelmiä. Nykysuuntauksen mukaisesti monitoimihävittäjien laajan tehtävänku- van myötä koneet pystyvät tarvittaessa suorittamaan useita eri tehtäviä yhden lennon aikana. Uusimpien hävittäjien asevalikoimaan kuuluu hyvin laaja valikoima ammusaseita, ohjuksia ja pommeja.

Erityisesti uusimmissa amerikkalaisissa täsmäaseissa ilmenee aseiden pieni koko, joka perustuu pommeihin integroituun erittäin tarkkaan osumistodennäköisyyteen. Lisäksi uusimpien monitoimihävittäjien sisäiset asekuilut eivät mahdollista suurten aseiden ja hyötykuormien kuljettamista.

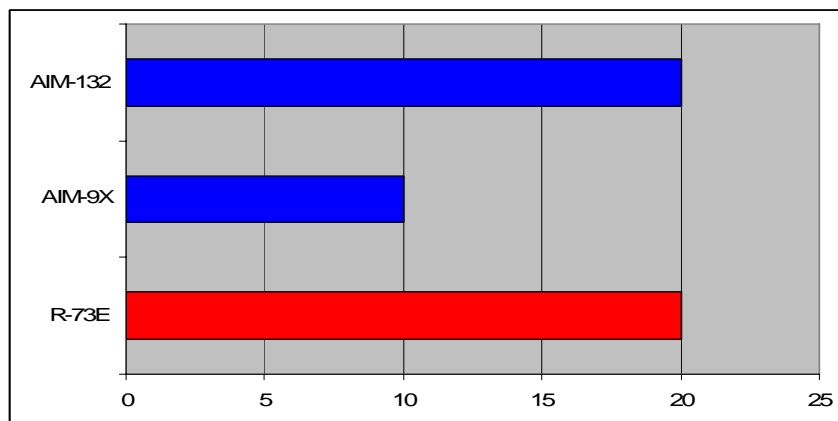
Liitteissä 12-16 on esitetty tutkielmassa esiintyvien monitoimihävittäjien aseistusta sekä niiden tietoja. Huomioitavaa on, että F-35 -koneen asetaulukko ei pidä sisällään kaikkia aseita, joita koneeseen voidaan asentaa. Pyrkimyksenä on esittää tutkielman kohdevaltioiden samoja lentokoneaseita vertailun mahdollistamiseksi. PAK-FA -koneen asetaulukossa on mainittu ainoastaan kaksi uutta venäläistä ohjusta, jotka on eri lähteiden mukaan arvioitu asennettavaksi kyseiseen koneeseen. Täydellistä listaa PAK-FA:lle yhteensopivista aseista ei vielä ole saatavilla. Perusoletuksena on, että PAK-FA -koneella pystytään aikanaan operoimaan kaikilla uusimmilla venäläisillä lentokoneaseilla, joita on esitetty muun muassa Su-27SM/Su-35 - ja MiG-35 -koneiden asetaulukoissa.

### 6.3.1 Ilmasta-ilmaan ohjukset

Kohdevaltioiden käyttämiä ilmasta-ilmaan ohjuksia verrataan kantaman ja käyttöetäisyyden mukaan. Tosin ilmataisteluohjusten kantama ja käyttöetäisyydet eivät ole samalla tavalla yksiselitteisiä kuin esimerkiksi useimmilla maasta laukaistavilla aseilla. Asiaan vaikuttaa suuresti ampujan ja maalin lentokorkeus sekä nopeus. Myös maalin kaarroilla ja muulla liikehtimisellä on vaikutuksensa.

Ensimmäiseksi verrataan kohdevaltioiden käytössä olevia ilmataisteluohjuksia, jotka toimivat näköetäisyyden sisäpuolella (Within Visual Range). Taulukon 6 ohjusten kantamat on ilmoitettu kilometreissä [51].

Taulukko 6. Kohdevaltioiden lyhyen kantaman ilmataisteluohjusten kantamat [51].

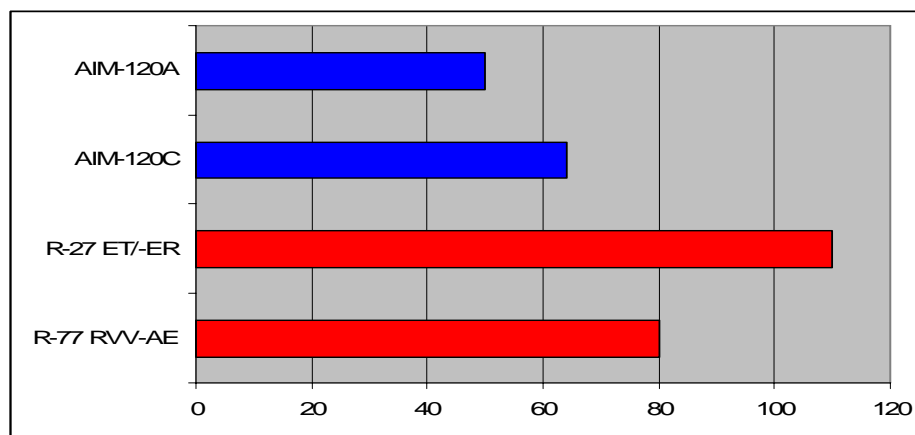




AIM-132 -ohjuksen ja R-73E -ohjuksen nopeudet yltävät 3 Machiin, AIM-9X Sidewinderin jäädessä 2,5 Machin nopeuteen. Kaikki ohjukset ovat infrapunahakuisia, kuten pääosa lyhyen kantaman ohjuksista. R-73E -ohjuksen yhdistetty peräsinohjaus ja suihkuvirtauksen suuntaus tekevät siitä erittäin nopean ja liikkuvan. Kyseiset järjestelmät mahdollistavat ohjuksen laukaisemisen erittäin suurissa lentonopeuksissa ja liikkuvuustilanteissa. Tavallisesta AIM-9 -ohjuksesta kehitetty X-mallin ohjus kykenee vastaamaan joissain määrin 73E -ohjuksen suorituskykyyn. AIM-9X -ohjuksen lämpöhakupään 2-ulotteiset ilmaisimatriisit muodostavat kohteesta 2-ulotteista kuvaa. Yksielementtiset ilmaisimet kykenevät aistimaan vain kohteen lämmön lähteen ja hakeutumaan siihen. Lisäksi AIM-9X -ohjuksen Off-Boresight -kulmaksi on mainittu 90 astetta [51], joka antaa etulyöntiaseman kohteen havaitsemisessa ja ohjuksen laukaisussa. Parantuneista lento-ominaisuuksista ja liikkuvuudesta huolimatta AIM-9X pystyy vain kaventamaan länsimaisten ja venäläisen R-73E -ohjuksen välistä eroa.

Toisena kohtana verrataan kohdevaltioiden ilmataisteluohjuksia, jotka vaikuttavat näköetäisyyden ulkopuolella (Beyond Visual Range). Taulukon 7 ohjusten kantamat on ilmoitettu kilometreissä [51].

Taulukko 7. Kohdevaltioiden pitkän kantaman ilmataisteluohjusten kantamat [51].



Venäläisten ja yhdysvaltalaisien ohjusten kantamissa on havaittavissa poikkeavuutta. Kaikki taulukossa esitetyt ohjukset yltävät nopeudessa 4 Machiin. R-77RVV-AE -ohjuksen lyhyet siivet muodostavat vähän vastusta antaen konventionaalisia siipiä paremman liikkuvuuden sekä suuremmat kohtauskulmat. Tämä tarkoittaa, että R-77 on liikkuvampi kuin AIM-120 -ohjus. AIM-120 -ohjuksen runkorakenne menettää lentäessään enemmän energiaa kuin R-77 -ohjus. Koska BVR-ohjukset lentävät suurimman osan ajasta ilman ulkopuolista voimaa, vaikuttaa energiahukka ja nopeuden menettäminen suuresti ohjuksen varsinaiseen torjuntavaiheeseen. R-77 -ohjuksesta on kehitteillä uusi versio, joka kulkee nimellä R-77M1. Kyseisen version pakoputkimoottori kasvattaa edelleen R-77 -ohjuksen kantamatkaa ja se on arvioitu

olevan PAK-FA -koneen pääilmataisteluohjus [51]. AIM-120 -ohjuksen kehittyneempi ECCM-tuki (Electronic-Counter-Counter-Measure) mahdollistaa suuremman osumistodennäköisyyden muihin vastaaviin ohjuksiin verrattuna. Lisäksi AIM-120 -ohjusta on vaikeampi häiritä johtuen sen kuvantavasta hakupäästä (Imaging Infra-Red). AIM-120 - ja R-77RVV-AE -ohjuksissa on kyky hakeutua passiivisesti häirintälähteeseen (home-on jam) [51].

Mikäli Venäjä saa käyttöönsä rahoitusongelmista kärsineen R-172 Novator -ohjuksen, lisää se Venäjän pitkän kantaman ilmasta-ilmaan kykyä. R-172 on suunniteltu käytettäväksi ilma- ja merivalvontakoneita vastaan. Sen kantamaksi on ilmoitettu huikeat neljäsataa kilometriä, huippunopeus yltää 4 Machiin. Ohjuksen laukaisupaino on 750 kiloa ja taistelulataus viisikymmentä kiloa [51]. Ohjusta on suunniteltu käytettävän muun muassa Su-35 -alustalta.

### 6.3.2 Ilmasta-maahan aseet

Viimeaikaiset konfliktit ovat osoittaneet, että ilmasta-maahan vaikuttaminen pyritään suorittamaan mahdollisimman kaukaa käyttäen ohjattuja pommeja ja risteilyohjuksia. Venäläisissä monitoimihävittäjissä on käytössä enemmän perinteisiä rynnäkköaseita yhdysvaltalaisiin monitoimihävittäjiin verrattuna. Ainoat niin sanotut perinteiset ilmasta-maahan ohjukset yhdysvaltalaisissa hävittäjissä ovat AGM-65 Maverick sekä tutkasäteilyyn hakeutuva AGM-88 HARM -ohjus. Yhdysvaltalaisessa kalustossa painotus on laservalaisuun hakeutuviissa pommeissa, jotka ovat olleet käytetyimpiä täsmäaseita viimeisimmissä konflikteissa ja sodissa. Taulukossa 8 on esitetty yhdysvaltalaisen ja venäläisten ohjattavia pommeja, niiden todennäköinen osumistarkkuus (Circular Error Propable) ja läpäisykyky [51].

*Taulukko 8. Kohdevaltioiden ohjattavat pommit, niiden todennäköinen osumistarkkuus (CEP) ja läpäisykyky [51].*

Ase	CEP	Läpäisy	Ase	CEP	Läpäisy
GBU-24A Paveway III	3-8 m	1,8 m vahv.betonia	KAB-500Kr	7 m	noin 1m vahv. betonia
GBU-32 JDAM	8 m	-	KAB-500L	7 m	noin 1 m vahv. betonia
GBU-38 JDAM	8 m	-	KAB-1500Kr	10m	noin 1m vahv. betonia /
GBU-39 SDB	5-8 m	1,8 m vahv.betonia	KAB-1500L	7 m	jopa 20 m maata

Lisäksi lähde [51] mainitsee venäläisille KAB-500Kr ja -L -pommeille 1500 m<sup>2</sup> tuhoalueen. Kaikki taulukossa esitetyt ohjatut pommit pystytään pudottamaan vähintään viiden tuhannen metrin korkeudesta [51]. Näin pudotukset pystytään suorittamaan suojassa erittäin lyhyen ja lyhyen kantaman ilmatorjunnalta. Aseiden todennäköiset osumistarkkuudet ovat suuntaa antavia, sillä GBU-24A Paveway III -pommille mainitaan jopa yhden metrin osumistarkkuutta kohteeseen. Amerikkalaiset pommit, pois lukien GBU-24A, käyttävät ohjautukseen GPS- ja INS-järjestelmiin perustuvaa ohjausosaa, joka mahdollistaa erittäin hyvän tarkkuuden kai-

kissa sääolosuhteissa. GBU-pommin on todettu nelinkertaistavan yhdysvaltalaisien sotakoneiden tulivoiman verrattuna niihin ohjuksiin ja pommeihin jotka olivat käytössä vain neljä vuotta sitten.

Venäläiset pommit käyttävät ohjautukseen laservalaisua, elektro-optista ohjausta tai pelkäävät TV-ohjausta. Elektro-optista ohjausta ei voi käyttää pimeällä. Laservalaitut pommit ovat osoittaneet tehokkuutensa, mutta niiden käytössä on tiettyjä rajoituksia. Suurin rajoitus on lasersäteen käyttämä taajuusalue, jossa ilmakehän epäpuhtaudet saattavat estää säteen etenemisen. Laservalaisu vaatii optisen yhteyden maalin ja laserhakupään välillä. Huonoissa sääolosuhteissa laserpommien käyttö rajoittuu ja pahimmassa tapauksessa estyy kokonaan. Ongelmana on myös se, että laserpommien laukaisuun kykeneviä koneita on paljon enemmän, kuin maalin itsenäiseen tunnistamiseen ja valaisemiseen kykeneviä koneita.

GPS-ohjautuvien täsmäaseiden heikkoutena on niiden heikko kyky toimia liikkuvia maaleja vastaan. Lisäksi täsmäaseiden ja pommien GPS-järjestelmät ovat alttiita häirinnälle, jolla pysytään vaikuttamaan satelliitti signaaliin ja sitä kautta pommin maalitietoihin. Lisäksi vastapuoli saattaa käyttää samaa GPS-signaalia omien aseiden ohjaukseen käyttäen hyväkseen vastatoimikykyä, jota sillä ei muuten olisi. Ohjautuvien pommien ominaisuuksia kehitetään jatkuvasti pyrkimyksenä kehittää havaittuja puutteita. Tulevaisuudessa nykyisiin aseisiin tultaneen lisäämään itsenäiseen toimintaa kykeneviä hakupäitä.

Ilmasta-maahan vaikuttaminen voidaan toteuttaa myös ohjuksilla, joita venäläisessä kalustossa on selvästi enemmän. Tutkasäteilyyn hakeutuvia ohjuksia käytetään vihollisen ilmapuolustuksen tutkajärjestelmien tuhoamiseen. F-35 kasvattaa Yhdysvaltain ilmavoimien kykyä operoida tutkasäteilyyn hakeutuvalla AGM-88 HARM -ohjuksella, sillä tällä hetkellä ainoastaan F-16C pystyy operoimaan kyseisellä ohjuksella. Venäläisten tutkasäteilyyn hakeutuva Kh-31P -ohjus pystyy vaikuttamaan vihollisen ilmapuolustuksen ohella myös muihin maa- ja merialueiden tutkajärjestelmiin. Kh-31P on suorituskyvyltään selvästi AGM-88 -ohjusta parempi. Kh-31P:n uusimman version kantama on jopa kaksi sataa kilometriä, yli kaksinkertainen AGM-88 HARM -ohjaukseen verrattuna (80 km) [51]. Lisäksi Venäjä on kehittämässä vielä nopeampaa tutkasäteilyyn hakeutuvaa Kh-31PMK -ohjusta, joka sovitettaneen aikanaan PAK-FA -koneeseen.

F-35 pystyy operoimaan myös AGM-65 Maverick -ohjuksella, joka on suunniteltu laajaan taktiseen käyttöön. Koneen eri versiot käyttävät kyseisen ohjuksen A-, E- ja F-versioita. Versiot poikkeavat toisistaan oikeastaan vain laukaisupainon, taistelukärjen sekä ohjautuksen

osalta. Vastaava venäläinen Kh-29T -ohjus on suunniteltu ja tarkoitettu käytettävän suu-rempiin kohteisiin ja maaleihin. AGM-65 Maverick pystytään laukaisemaan kauempaa (Stand-Off capability) kuin Kh-29T ja se on myös venäläistä vastinetta hieman nopeampi. Kh-29 -ohjuksesta on kehitetty myös vientiin tarkoitettu TE-versio, jossa on T-mallia pidempi kantama.

Suunnitteilla on ollut F-35:n sovittaminen yhteensopivaksi AGM-158 -risteilyohjuksen kanssa. Integroinnin seurauksena F-35 kasvattaisi kykyä vaikuttaa maakohteisiin merkittävästi. AGM-158 on suunniteltu kaiken tyyppisiä aluemaaleja sekä pistemaaleja vastaan ja se pystytään laukaisemaan alueilmatorjunnan kantaman ulkopuolelta. Ohjuksella voidaan vaikuttaa myös liikkuviin maaleihin. Käyttömahdollisuudet ulottuvat myös tukialuskoneisiin. AGM-158 -ohjuksen kantamaksi on arvioitu yli 350 kilometriä, jopa yli viiden sadan kilometrin kantama on mainittu [51]. Pisin venäläisen ilmasta-maahan ohjuksen kantama on kaksi sataa kilometriä. Tosin AGM-158 -ohjus yltää vain alisooniseen lentonopeuteen parhaiden venäläisten ohjusten yltäessä yli 3 Machin nopeuksiin (Kh-31PMK). Lockheed Martin on tarjonnut AGM-158 JASSM-ohjukselle vielä pidemmän kantaman JASSM-ER -versiota. Vaihtoehtona on ollut myös LOCAAS-liitopommin sijoittaminen JASSM-runkoon. LOCAAS käyttää haakeutumisvaiheessa yhdistettyä laser- ja millimetriaaltotutkaa kuvanmuodostukseen ja hahmontunnistukseen. Kyseinen modifiointi kasvattaisi ohjuksen tarkkuutta ja kantamaa, sekä ylipäättään sen operatiivista joustavuutta.

Tutkimuksen venäläisissä monitoimihävittäjissä on myös pelkästään merimaaleihin tarkoitettuja ohjuksia. Tavallisesti merimaaliohjukset voidaan laukaista useasta eri lavetista. Tästä poikkeaa venäläinen Kh-35U -merimaaliohjus, joka voidaan laukaista ainoastaan ilmaluksesta. Uusin venäläinen Kh-59MK on selvästi kehittynein merimaaliohjus. Se on huomattavasti Kh-35U -ohjusta painavampi, sen taistelulataus on merimaaliohjuksista kookkain. Sen kantamaksi on mainittu 285 kilometriä [56]. Uusimmasta yhdysvaltalaisesta kalustosta puuttuu merimaaliohjus, mutta F-35:n ohjautuvaa AGM-154 JSOW -pommikasettia voidaan käyttää myös merimaaleja vastaan. JSOW:n laukaisupaino (ammuskuormasta riippuen 450–680 kiloa) jää selvästi Kh-59MK -ohjuksen 920 kilon laukaisupainosta. JSOW:n kantama on korkealta laukaistaessa vain 75 kilometriä [51]. Moottoroidun version kantamaksi on todettu kaksi sataa kilometriä. Ongelmana on, että moottoroitua versiota ei ole vielä olemassa kuin ehkä suunnittelupöydällä. Kaiken kaikkiaan Kh-59MK on erittäin tehokas ja vaikeasti havaittava. Ohjuksessa on aktiivinen hakupää ja se käyttää ohjautukseen GPS/GLONASS- ja INS-järjestelmiä.

Kaiken kaikkiaan yhdysvaltalaisissa lentokoneaseissa on havaittavissa selvä suuntaus ja painopiste yhä tarkemmin ohjattuihin täsmäpommeihin. Esimerkiksi F-22:n aseistukseen ei kuulu yhtään ilmasta-maahan ohjusta. Tämä osoittaa suuntauksen, jossa ilmasta-maahan vaikuttaminen pyritään tekemään mahdollisimman kaukaa. Käytännön kokemukset viimeaikaista sodista ovat kiistatta osoittaneet myös näiden keinojen tehokkuuden ja tarkkuuden. Silti venäläisellä lentokoneasesuunnittelulla on etulyöntiasema useissa eri asetyypeissä Yhdysvaltoihin ja länsimaihin verrattuna. Tämä on havaittavissa muun muassa ilmataisteluohjusten liikkuvuudessa ja ketteryudessa. Lisäksi venäläiset ilmasta-maahan ohjukset ja erityisesti tutkasäteilyyn hakeutuvat ohjukset ovat yhdysvaltalaisia ohjuksia suorituskykyisempiä. Suurin puute venäläisessä lentokoneaseistuksessa on heikko kyky toimia vaikeissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Tämä heikentää selvästi venäläisten ohjattavien pommien toimintakykyä. Venäjä on vasta modernisoimassa GLONASS-järjestelmäänsä, jonka 24 satelliittia käsittävän kokonaisuuden on kerrottu tulevan palveluskäyttöön vuoteen 2008 mennessä. Tämä vaikuttaa suuresti aseiden tarkkuuteen, sillä lähes poikkeuksetta yhdysvaltalaiset ilmasta-maahan aseet käyttävät ohjautukseen GPS/INS-järjestelmiä.

Yhdysvaltalaisten uuden sukupolven hävittäjäkaluston suorituskykyä kasvattaa mahdollinen yhteensopivuus ja integrointi AGM-158 JASSM -risteilyohjukseen. Su-35:ssä on suunniteltu käytettävän Kh-41 (SS-N-22) -, Kh-61 (SS-N-26) - ja 3M54 (SS-N-27) -risteilyohjuksia. Näistä kaksi ensin mainittua ovat hieman vanhempaa kalustoa, mutta 3M54-ohjuksen ilmasta laukaistava versio esiteltiin MAKS 2007-lentonäytöksessä [25]. Kyseiset risteilyohjukset Su-35 -alustassa kasvattavat venäläisten kykyä käyttää niitä myös ilmasta. Uusinta venäläisten käytössä olevaa BrahMos-risteilyohjusta on sovitettu ainoastaan Su-30MKI -alustaan. Ohjusprojektissa on mukana myös Intia. BrahMos-risteilyohjus on kehitetty Kh-61 -ohjuksen pohjalta. Kehitteillä on myös BrahMos 2-risteilyohjus, jolla pyritään saavuttamaan jopa 5 Machin nopeus. Tämä tekisi sen torjumisen mahdottomaksi [87].

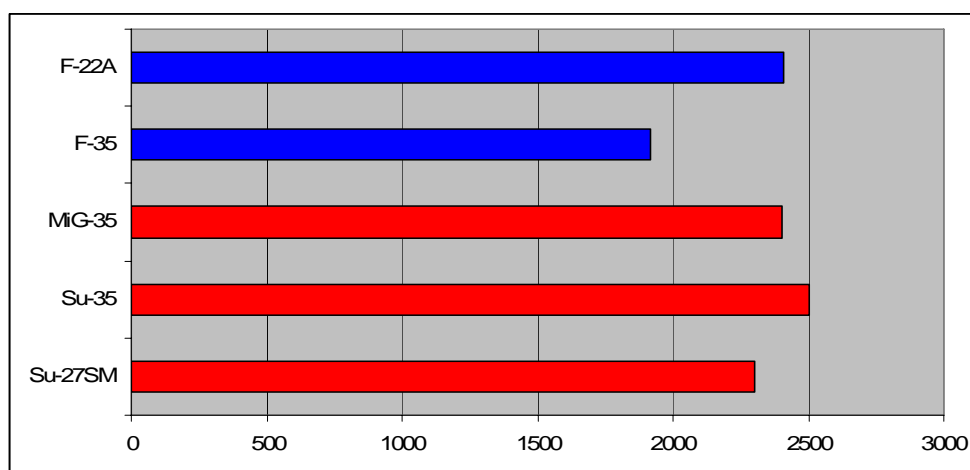
#### 6.4 Tekninen vertailu

Tutkielmassa esiintyvien monitoimihävittäjien tekniseen vertailuun on suhtauduttava tietyllä varauksella. Vain kaksi tutkielmassa esiintyvistä koneista on operatiivisessa käytössä (F-22A Raptor ja Su-27SM) muiden ollessa vasta eriasteisissa testi- ja koelentovaiheissa. Näin ollen tietyt kappaleessa esitetyt tiedot perustuvat arvioihin ja ovat suuntaa antavia. Huomioitavaa on myös koneiden eri versiot ja niiden tietyt eroavaisuudet. Esimerkiksi F-35 -koneesta on kolme versiota, joiden mahdolliset eriävät tiedot kappaleessa pyritään esittämään.

### 6.4.1 Lentonopeus

F-22A Raptor pystyy lentämään supercruise-ominaisuudella lähes kahdentuhannen kilometrin tuntivauhtia ilman jälkipoltinta. Myös Su-35 -koneella on mainittu supercruise -ominaisuus asettaen sen suorituskvyn uuteen tarkasteluun. Tarkempia tietoja koneen kyseisestä ominaisuudesta ei ole ilmoitettu. Koska äänen nopeus muuttuu ilman lämpötilan mukaan, myös koneiden lentonopeus muuttuu eri korkeuksissa. Taulukossa 9 on esitetty monitoimihävittäjien suurimmat lentonopeudet korkealla lennettäessä [8, 40, 52, 77].

Taulukko 9. Monitoimihävittäjien suurimmat lentonopeudet korkealla lennettäessä (km/h) [8, 40, 52, 77].

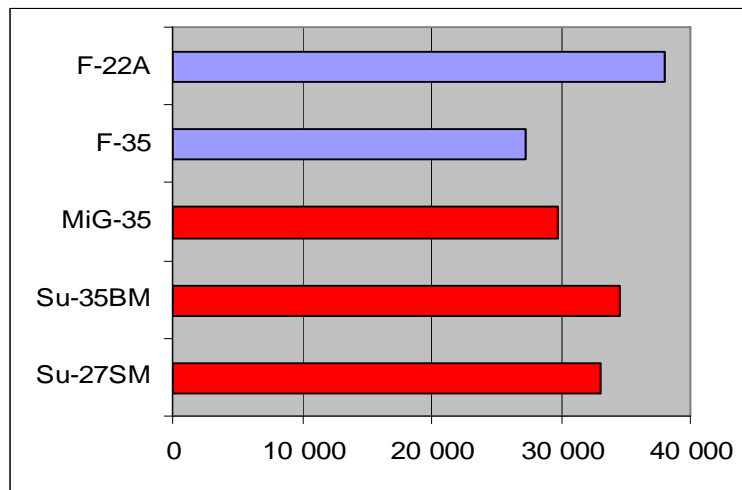


Merkille pantavaa on F-35 -koneen matala maksimaalinen lentonopeus verrattuna muihin tutkielmassa esiintyviin monitoimihävittäjiin. F-35 -koneen toiminta perustuu sen järjestelmien tuomaan suorituskvyn, jotka mahdollistavat tilannetietoisuuden tuoman edun ja toiminnan sen mukaisesti.

### 6.4.2 Lentoonlätöpaino ja hyötykuorma

Korkea lentoonlätöpaino kuvaa osaltaan koneen kykyä kantaa raskasta hyötykuormaa lentokoneaseineen ja ulkoisine polttoainesäiliöineen. F-22A Raptorin suurin lentoonlätöpaino on venäläisiä hävittäjiä suurempi, tosin tietyissä lähteissä koneen suurimmaksi lentoonlätöpainoksi ilmoitetaan F-35 -konetta vastaava paino. Taulukossa ilmoitettu luku vastaa raskaan aseistuksen omaavan F-15 -koneen lentoonlätöpainoa.

Taulukossa 10 on esitetty kohdevaltioiden monitoimihävittäjien suurin lentoonlätöpaino kiloissa [8, 40, 48, 52].



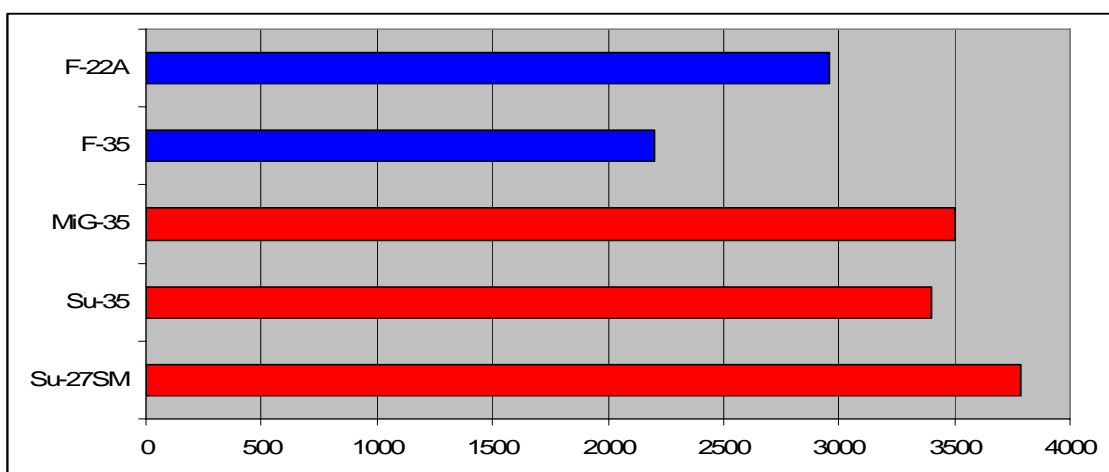
Su-35:n taistelukuormaksi on ilmoitettu kahdeksantuhatta kiloa. Kone pystyy kantamaan lentokoneaseita ja ulkoisia polttoainesäiliöitä kaikkiaan 12 ripustimessa. Koneen normaali lentoonlähtöpaino neljällä ilmataisteluohjuksella on 25 300 kiloa [77]. MiG-35:n on ilmoitettu kykenevän kantamaan kuudentuhannen kilon kuormaa yhdeksässä ripustimessaan [69].

Aseistettaessa F-22 -koneen sisäinen asekuilu sekä ulkoiset ripustimet päästään teoreettisesti jopa kymmenentuhannen kilon hyötykuormaan. Aseistettaessa F-35 samalla tavalla päästään liki kuudentuhannen kilon hyötykuormaan.

#### 6.4.3 Toimintamatka

Monitoimihävittäjän toimintamatka muodostaa niiden suorituskyvyn perustan. Venäläisen kaluston modernisoinneissa onkin kehitetty koneiden toimintamatkaa kasvattamalla muun muassa sisäisen polttoaineen määrää. Toimintamatkaa voidaan kasvattaa ulkoisilla koneen ripustimiin asennettavilla polttoainesäiliöillä sekä ilmatankkauksella. Lisäksi Su-35 - ja MiG-35 -koneisiin on lisätty kyky tankata myös toisia koneita (Buddy Refuelling). Taulukossa 11 on esitetty kohdevaltioiden monitoimihävittäjien toimintamatka kilometreissä sisäisellä polttoaineella [40, 48, 52].

Taulukko 11. Monitoimihävittäjien toimintamatka kilometreissä sisäisellä polttoaineella [40, 48, 52].



F-35 -koneen valmistaja ilmoittaa F-35A -version toimintamatkaksi 2200 kilometriä ja B-version vain 1600 kilometriä [40]. Su-27SM -koneen pitkä toimintamatra perustuu sen suureen sisäiseen polttoainemäärään, joka on liki kymmenentuhatta kiloa. F-22A Raptorilla sama luku on kahdeksantuhatta kiloa ja F-35C -mallilla noin yhdeksäntuhatta kiloa [40].

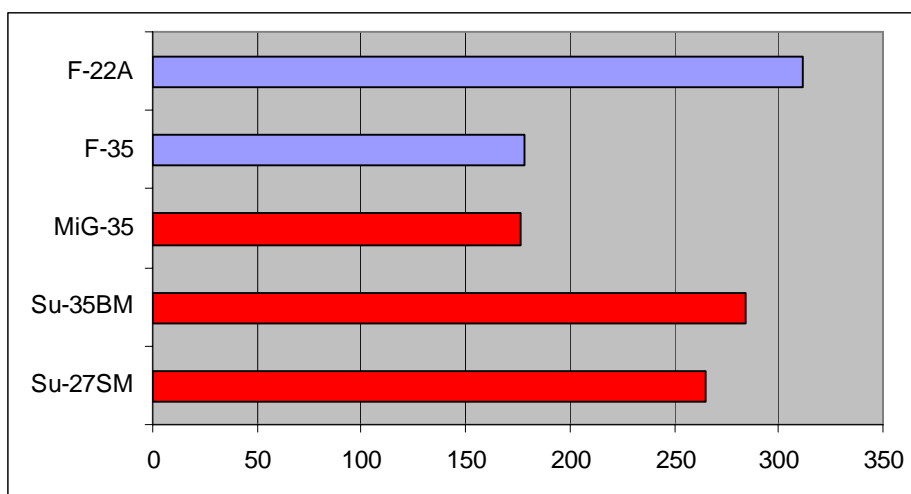
Venäläisissä modernisoiduissa monitoimihävittäjissä ja F-22A Raptorin toimintamatkassa on selvä ero, sillä Su-35:n on ilmoitettu kykenevän lentämään kahdella ulkoisella lisäsäiliöllä (PTB 2000) 4500 kilometriä [77]. F-22A kahdella lisäsäiliöllä pystyy lentämään vain 3200 kilometriä. Su-27SM -koneen toimintamatra kasvaa lisäsäiliöin liki 4400 kilometriin [48].

#### 6.4.4 Työntövoima ja teho-painosuhte

Lentokoneen liikehtimiskykyyn ja kokonaisenergiaan vaikuttaa moottorin työntövoima. Moottorin työntövoima ja sen lisääminen erityisesti korkeassa lentonopeudessa muodostaa tärkeän ominaisuuden erityisesti lähi-ilmataistelussa. Liikehtimiskykyyn ja koneen kääntymiseen tiukasti menettämättä liikaa lentonopeutta ja energiaa vaikuttaa myös teho-painosuhte.

Taulukossa 12 on esitetty kohdevaltioiden monitoimihävittäjien moottoreiden tuottama työntövoima (kN) [40, 52, 77].

Taulukko 12. Monitoimihävittäjien moottoreiden tuottama työntövoima (kN) [40, 52, 77].



MiG-35 ja F-35 ovat yksimoottorisia. Muut taulukon hävittäjät ovat kaksimoottorisia. Su-27SM -koneisiin asennettu AL-31FM1 -moottori on kehitystyön alla ja sen kolmivaiheisen ohjelman on Saluyt-yhtiön mukaan tarkoitus tuottaa moottori, jonka työntövoima on hieman suurempi kuin Su-35:n 117S-moottorin. Taulukossa MiG-35:n moottorin työntövoima on ilmoitettu RD-33MK:n mukaan, joka on integroitavissa kyseiseen alustaan. Toinen moottori alustaan on RD-33K -moottori.



Moottorin suorituskykyyn vaikuttaa suihkuvirtausta suuntaava moottori. Kyseinen ominaisuus on F-22A Raptorin F119-PW-100 -moottorissa, Su-35:n AL-31F-117S -moottorissa sekä RD-33MK -moottorissa, jonka on mahdollista integroida muun muassa MiG-35 -alustaan.

F-22A Raptorin teho-painosuhte normaalisissa lentoonlähätöpainossa on 1,08. Koneen teho-painosuhteeksi on joissain lähteissä ilmoitettu jopa 1,4. Su-35:n suhdeluku normaalisissa lentoonlähätöpainossa on 1,12. Suurimmassa lentoonlähätöpainossa F-22A Raptorin ja Su-35:n suhdeluku on noin 0,8. F-35:n teho-painosuhte normaalisissa lentoonlähätöpainossa on 0,9 ja suurimmassa lentoonlähätöpainossa 0,67. Korkea teho-painosuhte mahdollistaa koneen kääntymisen ja liikehtimisen menettämättä liikaa lentonopeutta.

Koneen alhainen painon ja siipien pinta-alan muodostama siipikuormitus on osaltaan myös tärkeä tekijä sen hallittavuudessa. Normaalissa lentoonlähätöpainossa F-22A Raptorin siipikuormitus on  $375,4 \text{ kg/m}^2$ , F-35:llä  $467,2 \text{ kg/m}^2$  ja esimerkiksi Su-35:llä  $408 \text{ kg/m}^2$ .

Alhainen siipikuormitus yhdistettynä korkeaan teho-painosuhteeseen mahdollistaa koneen kääntymisen tiukasti menettämättä liikaa lentonopeutta ja energiaa. Tähän tietoon perustuen F-22A Raptor on tutkielman monitoimihävittäjistä teoreettisesti liikehtimiskykyisin.

## 6.5 Täyttääkö monitoimihävittäjät niille asetetut vaatimukset?

### 6.5.1 Yhdysvaltalainen kalusto

F-22A Raptor on alun perin suunniteltu ilmaherruushävittäjäksi. Koneita voidaan pitää erittäin tehokkaana kyseiseen tehtävään johtuen häiveominaisuudesta, suuresta nopeudesta ja liikkuvuudesta. Lisäksi koneen tilannetietoisuus on nostettu uudelle tasolle muihin ilmaherruushävittäjiin verrattuna. F-22A pystyy liikkuvuudeltaan ja nopeudeltaan vastaamaan mille tahansa monitoimihävittäjälle, puhumattakaan sen häiveteknologian antamasta edusta ilmatäisteluissa.

F-22A Raptorin asejärjestelmät kattavat selvästi vähemmän aseistusta kuin edeltäjänsä tai kilpailevat hävittäjät. Koneen optimaalinen asemäärä perustuu kuitenkin laatuun ja huipputeknologiaan. Koneen integroitu avioniiikka, sensorit, tilannetietoisuus ja asejärjestelmät mahdollistavat ”first-shoot, first-kill” -mahdollisuuden uhkia vastaan. Tällä käsitteellä ymmärretään tilannetta, jossa pilotti etsii kohteen, tunnistaa sen, ampuu ja tuhoaa ilmamaalit ennen kuin ko-

ne havaitaan. Nykyajan ilmataistelussa ensin ampuva saavuttaa etulyöntiaseman vastustajaansa nähden.

Kone voidaan varustaa toissijaisesti myös rynnäkkötehtäviin. Pommien tarkkuus, stand-off laukaisukyky sekä toimintamahdollisuus kaikissa sää- ja valaistusolosuhteissa mahdollistavat erittäin tehokkaan ilmasta-maahan vaikuttamisen. Kone pystyy joissain määrin täyttämään F-117 Nighthawkin jättämän aukon. F-22:n täsmäaseet ovat nykyaikaisempia ja uudempaa teknologiaa. Esimerkiksi F-117 operoi laserohjatuilla GBU-10 -pommeilla, joiden käyttömahdollisuudet ovat riippuvaisia olosuhteista. Selvä puute F-22:n ilmasta-maahan kyvyssä on ilmasta-maahan ohjukset ja ennen kaikkea tutkasäteilyyn hakeutuvien ohjusten puutteellisuus. Tosin harjoitusmäärät ovat osoittaneet, että F-22A Raptor on selvästi suunnattu ilmaherruuden hankkimiseen sekä sen ylläpitämiseen ja vasta toissijaisesti rynnäkkötehtäviin. Koneen harjoittelusta 75 prosenttia kohdentuu ilmasta-ilmaan - ja 25 prosenttia ilmasta-maahan tehtäviin.

Hävittäjällä pystytään toimimaan tehokkaasti myös meritorjunnoissa. Kyky perustuu Yhdysvaltain ilmavoimien suorittamaan meritoimintaharjoitukseen Tyynellämerellä marraskuussa 2004. Harjoituksessa demonstroitiin AMSTE-skeemaa (Affordable Moving Surface Target Engagement) merikohteita vastaan. Skeema perustuu GPS -ohjattuihin täsmäpommeihin, jotka sopeutetaan datalinkin välityksellä lukittumaan maakohteisiin. Ohjautuksena toimii datalinkin vastaanotin. Pommin lentäessä kohti maalia sen paikkatiedot päivittyvät datalinkin välityksellä useita kertoja sekunnissa. Pommi lentää kohteeseen, jonka koordinaatit se on vastaanottanut alle sekunti ennen törmäystä. Alun perin skeema suunniteltiin joka sään hyökkäykseen kohti liikkuvia maakohteita. Maakohteiden liikkeessä merikohteita nopeammin ja tehden nopeampia suunnan muutoksia todettiin sen soveltuvan paremmin juuri meritorjuntoihin. F-22A Raptorin AESA-tutka on soveltuva tähän rooliin sen mahdollistaessa myös merikohteiden kuvantamisen, tutkan ISAR-moodien laajentamisen myötä [63].

F-22 pystyy varustukseltaan toteuttamaan tehtäviä myös elektronisen sodankäynnin raameissa. Koneessa on sensorit infrapuna- ja IFF-vastamittaukseen ja elektroniseen valvontaan. AN/ALR-94 -järjestelmä mahdollistaa yleisimpien uhkien havainnoinnin, analysoinnin sekä arvioinnin muodostaen näin yhden ELSO-kokonaisuuden tärkeimmistä piirteistä. Tietävästi koneessa on testattu myös ADRS-laitteistoa (Advanced Dynamic Radio frequency Simulator), joka mahdollistaa erilaisten uhkaskenaarioiden simuloinnin. Laitteiston taajuuskirjaston sisältää kaikki tunnetut ja käytössä olevat tutkasignaalit [94]. AN/ALR-94 -järjestelmän käyttö yhdessä APG-77 -tutkan kanssa mahdollistaa erittäin kapean tutkasäteen käytön. Kyky mahdollistaa lähestyvän kohteen tarkkailun ilman paljastumista. Kapeimmillaan tutkasäde on vain

kaksi astetta sekä vertikaalisesti että horisontaalisesti. ALR-94 -järjestelmän tutkaa pidempi kantama (450 km) mahdollistaa kohteen tarkkailun passiivisesti paljastumatta, sillä kohde ei ehdi saada ilmaisuja F-22A Raptorin tutkasta ennen ennakkovaroitusta ALR-94 -järjestelmältä.

Käytännön kokemukset ovat silti osoittaneet, että F-22A Raptorin tehokkuus ei yksin riitä suorittamaan esimerkiksi vihollisen ilmapuolustuksen lamauttamista (SEAD). F-22 tarvitsee maksimaalisen vaikutuksen luomiseen muiden ilmakomponenttien avustusta. Yhdessä AWACS-kyvyn ja F-16 -hävittäjän kanssa kyseinen tehtävä pystytään suorittamaan tehokkaasti. F-22 -monitoimihävittäjä kärsii osaltaan myös datalinkin puuttumisesta ja toimimattomuudesta. Datalinkin avulla F-22 pystyisi kommunikoimaan toisen F-22 -koneen kanssa, toisten hävittäjien kanssa ja ennen kaikkea pystyisi vastaanottamaan informaatiota ja tilannetietoa vallitsevista tapahtumista. Datalinkin puute laskee F-22 -koneen tilannetietoisuutta ja heikentää muun muassa täsmäaseiden tehokkuutta ja tarkkuutta. Datalinkin myötä F-22 pystyisi toimimaan taktisena johto- ja valvontakoneena suuremmissa hävittäjämuodostelmissa.

Yhdysvaltain tämän hetkinen tilanne maailmapoliittisena vaikuttajana osoittaa, ettei 183 F-22A Raptoria riitä tavoitteellisen tilan saavuttamiseen. Yhdysvaltain ilmavoimien mukaan F-22:n käyttö voisi olla paljon suunniteltua laajempaa. Heidän mukaan monitoimihävittäjä pystyisi toteuttamaan tehokkaammin tehtäviä, jotka tähän asti on toteutettu maajoukoin, vähentäen operaatioiden kestoa sekä omia tappioita [6]. Silti F-15 -kaluston modernisointi ja rahoittaminen tuntuu optimaaliselta johtuen F-22:n rajoittuneesta kyvystä suorittaa yksin tiettyjä operaatioita. Yhdysvaltain ilmavoimat pyrkii selvästi näiden kahden koneen yhteisvaikuttamiseen. Missään vaiheessa F-22:n ei ole oletettu täysin korvaavan F-15 -kalustoa ja tehtäväkenttää, vaan paremminkin täyttävän ne puutteet, joita F-15 -koneen käytössä on vuosien mittaan havaittu.

F-35 Lightning II:n kolme versiota on määrää korvata useita jo vanhentuneita koneita ja vastata eri käyttäjien tarpeisiin. F-35 pystyy toteuttamaan ilmasta-ilmaan tehtäviä AIM-120 - ja lyhyemmän kantaman AIM-9 - ja AIM-132 -ohjusten myötä. EOTS-järjestelmä on kasvattanut ilmauhkien havaitsemistodennäköisyyttä. Lisäksi F-35 pystyy operoimaan myös tutkasäteilyyn hakeutuvilla ohjuksilla.

Ilmasta-maahan vaikuttamiseen F-35 -koneella on käytössään tarkimmat täsmäaseet. Näillä aseilla mahdollistetaan laajempi vaikuttaminen maakohteisiin kuin F-22:lla. EOSS-kokonaisuus mahdollistaa kohdetähtäyksen maakohteisiin ja ammunnanhallinnan. Laajan

asevalikoiman ja kohdetähtäyksen myötä F-35 pystyy korvaamaan A-10 - maataistelukoneen sekä AV-8B - ja A-6 -koneet. Sisäisiä asekuiluja F-35 -koneella on vain kaksi. Tämä rajoittaa joiltain osin toimintaa häiveteknologian tarjoamin hyödyin. F-35 onkin suunnattu ensisijaisesti (70 %) rynnäkkötoimintaan ja selvästi toissijaisesti ilmataisteluihin (30 %). Tilannetietoisuuden ja omasuojalaitteiden myötä se ei tarkoituksellisesti ole ylivermainen liikkuvuudeltaan tai nopeudeltaan. Kone saa ilmaisen vihollisesta hyvissä ajoin, jolloin sen asejärjestelmien käyttö mahdollistaa viholliseen vaikuttamisen ennen kohtaamistaistelua. Lento-ominaisuudet ohjaavat F-35 -hävittäjää enemmän juuri ilmatilan eristämistehtäviin ja rynnäkkötoimintaan, poislukien syvyyteen ulottuva rynnäkkötoiminta.

F-35 -koneen tutka pystyy tarkkailemaan samanaikaisesti ilma- ja maamoodeja. AESA APG-81 -tutka pystyy esiintymään myös elektronisen sodankäynnin tehtävissä häiritsemällä vihollisen tutkia. Erityisesti Yhdysvaltain rannikkojalkaväelle suunnatun F-35B -version ELSO-kykyä on kartoitettu tavoitteena vaikuttaa vihollisen tiedustelu- ja valvontakykyyn. Tutka mahdollistavat myös elektronisen tiedustelun. APG-81 -tutka on muuttamassa hävittäjätutkien toimenkuvaa pelkästä kohteiden havaitsemisesta monikäyttöiseksi sensoriksi. Keskustelua on käyty myös F-35 -koneen häirintälaitteesta ja sen tarpeellisuudesta. Vaikka F-35 on stealth-kone, tarvitsee se silti kyvyn vaikuttaa vihollisen tutkajärjestelmiin. Tämän on osoittanut käytännön kokemukset B-2 -pommikoneesta, jonka suorituskykyä pystyttiin tehostamaan elektronisen sodankäynnin menetelmin. Kyseinen keskustelu saattaa johtaa jopa kaksipaikkaisen F-35:n kehittelyyn. Tosin F/A-18E/F Super Hornetit pystyvät toteuttamaan tehokkaasti kyseistä tehtäväkenttää kasvaneen ELSO-kyvyn myötä.

Irakista ja Afganistanista saatujen kokemusten mukaan Yhdysvaltain käyttämät täsmäaseet ja ohjatut pommit eivät ole tarpeeksi tarkkoja käytettäväksi kyseisissä toimintaympäristöissä. Vaikka pienimmät taistelulataukset ovat vain 114 kiloa, ovat ne silti liian isoja pistemaalien tuhoamiseen. Tarvetta olisi vieläkin pienemmälle taistelulataukselle, jolla pystyttäisiin tuhoamaan yksittäinen auto tai huone tuhoamatta koko korttelia tai rakennusta. Nykyisten suuntausten mukaisesti toimintaympäristössä pitäisi pystyä vaikuttamaan oikea-aikaisesti ja erittäin tarkasti määrättyyn kohteeseen. Mikäli aseiden tarkkuus ei ole riittävä ja sen tappava säde on liian suuri, saattaa omat joukot tai siviili-infrastruktuuri saada maailmanpoliittisesta näkökulmasta liian suuria tappioita. F-35 tulee parantamaan osaltaan tilannetta tuomalla taistelukentälle tarkempaa tilannetietoisuutta ja huipputeknologian tuomaa täsmällisyyttä.

Mahdollista on, että F-35:stä tulee ensimmäinen yksipaikkainen hävittäjä, joka varustetaan energia-aseella. Ase mahdollistaisi vaikuttamisen viholliseen valon nopeudella. Tällainen ase

tosin vaatisi valtavia ponnisteluja niin suunnittelun kuin muun muassa tarpeeksi tehokkaan voimantuoton kehittäessä. Odotettavissa kuitenkin on, että F-35 tullaan aseistamaan pienemmällä laserilla. Tämä antaisi koneelle ylivoimaisen edun loppumattomin ammuksin sekä vähentyvien ei-toivottujen tappioiden myötä. Suunnitelmissa on ollut laseraseen integrointi jo olemassa olevaan DAIRS-järjestelmään ja sen 360-asteen käyttömahdollisuus [75]. Laseraseella kone pystyisi vaikuttamaan myös Yhdysvaltain infrastruktuuria uhkaavia kohteita vastaan. Näitä voisi olla esimerkiksi ballistiset ohjukset.

Joint Strike Fighter -projekti on sisältänyt myös tutkimustyötä liittyen F-35:n visuaaliseen stealth-ominaisuuteen. Tutkimustyön mukaan koneesta voi tulla ensimmäinen miehitetty hävittäjä, joka omaa visuaalisen näkymättömyyden. Tutkimukset ovat vasta alkuvaiheessa, mutta kyseessä ei kuitenkaan ole täysin uusi ilmiö teknologian saralla. Kyky perustuu koneen rungon älymateriaaliin, joka muuttaa suojaväriään koneen ympärille asennettujen kameroiden avulla vastaamaan muuttuviin olosuhteisiin ja toimintaympäristöihin [75]. Visuaalinen stealth-ominaisuus kasvattaisi koneen selviytymisastetta päiväsaikaan ilmasta-ilmaan - (näköetäisyyden sisäpuolella, WVR) ja ilmasta-maahan rooleissa.

F-35 -projekti on kärsinyt monenlaisista ongelmista, mutta asiantuntijat ovat todenneet projektin olevan vaiheessa, jossa sitä ei tulla enää peruuttamaan. Ongelmien myötä on näköpiirissä kaksi muita suurempaa huolta: Vaikuttaako aikatauluista viivästyminen varsinaisen koneen suunnitteluun ja millä tavalla? Mikäli aikataulu jostain syystä viivästyy tulevaisuudessa, on mahdollista että koneen tietyistä yksityiskohdista joudutaan tinkimään. Tällöin kone ei vastaa kaikin puolin sille asetettuihin tavoitteisiin ja vaatimuksiin. Toinen ongelma on koneprojektin joutuminen niin sanottuun ”price death” -kierteeseen. Kierre johtuu tilanteesta, joka on vaikuttanut myös F-22 -projektiin. Aikataulun viivästyessä koneiden lopullista tilausmäärää mahdollisesti vähennetään. Tämä johtaa taas koneiden yksikköhintojen nousemiseen. Tosin F-22 -projektista saaduin opein Joint Strike Fighter pyritään saamaan läpi siten, ettei tämän hetken tilausmääriä enää muutettaisi. Totuuden nimissä F-22A Raptor ei ollut täysin sitä mitä mainospuheissa luvattiin. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii datalinkin puuttuminen, joka vaikuttaa moneen osa-alueeseen. Onkin mielenkiintoista nähdä kuinka hyvin nykyiset puheet F-35 -monitoimihävittäjästä pitävät paikkaansa 2010-luvulla, jolloin koneiden on tarkoitus astua palveluskäyttöön.

Taistelukentän epäsymmetrisyyttä ja sodankäynnin muutosta ei pystytä Yhdysvaltain näkökulmasta ratkaisemaan uusimmalla teknologialla. Helpotusta siihen tuo F-22A Raptor ja F-35, jotka kuitenkin pääsevät oikeuksiinsa symmetrisessä sodankäynnissä selvää vihollista vas-

taan. Mikään sensori tai järjestelmä ei kerro onko asutuskeskuksen tietty rakennus varmasti miehitetty vihollisjoukoin. Varman tiedon saamiseen tarvitaan monen komponentin ja sensorin yhteistyötä, tähän ketjuun kyseiset koneet tuovat selvää kehitystä. Selvää on, että uuden sukupolven monitoimihävittäjät soveltuvat mitä parhaiten Yhdysvaltain viimeaikaisissa konflikteissa käyttämään vaikutukseen perustuvaan sodankäyntiin (EBO).

Tehokkaan vaikutuksen saavuttamiseksi Yhdysvaltojen sotakoneisto ja ennen kaikkea ilma-ase vaatii F-22A Raptorin ja F-35:n yhteisvaikutusta. Tällöin F-22:n myötä se pystyisi hankkimaan ilmaherruuden muun muassa overall stealth-ominaisuuden myötä ja tämän jälkeen vaikuttamaan maakohteisiin F-35:n suorituskyvyllä. Mikäli ilmaherruus on kyetty saavuttamaan, riittää sen ylläpitämiseen vanhemmat hävittäjät ja niiden suorituskyky.

#### 6.5.2 Venäläinen kalusto

Su-27SM -version ilmasta-ilmaan tulivoimaa on kasvatettu SUV-V -asehallintajärjestelmällä, jonka myötä keskipitkän kantaman R-77RVV-AE -ilmataisteluohjuksen (AA-12) käyttö on mahdollistettu. Näin vaikuttamista ja ilmataistelukykyä myös näköetäisyyden ulkopuolelle (BVR) on kasvatettu perusversioon nähden. Su-27 -koneessa oli ainoastaan lyhyen kantaman ilmataisteluohjus R-73 (AA-11) sekä keskipitkän kantaman R-27 -ohjus (AA-10). N-001V -tutka pystyy havaitsemaan kohteen jopa 150 kilometrin päästä vanhan tutkan jäädessä noin 100 kilometrin havaitsemisetäisyyteen. Lähi-ilmataistelussa kone omaa korkean liikkuvuuden, josta esimerkkinä on ”Pugachevin Cobra”. Kyseinen liike on muutakin kuin lentonäytöksen vetonaula, sillä sen avulla Su-27SM pystyy ampumaan ohjuksen suoraan yläpuolella ja jopa takana olevaan vastustajan koneeseen.

Su-27SM pystyy toteuttamaan perusversiota laajemmin myös rynnäkkötehtäviä. Koneen on todettu pystyvän liikkuvan maalien ilmaisuun, joita pystytään havaitsemaan tehokkaasti IRST-laitteella ja laseretäisyysmittarilla. Kokonaisuutta tukee SUV-VEP1 -aseenhallintajärjestelmä ja TV-/laserohjatut rynnäkköaseet. Etuna laserohjatuilla aseilla voidaan pitää satelliittiohjattuja aseita tehokkaampi kyky liikkuvien maakohteiden tuhoamiseen. Tosin ongelmana on rajoittunut toimintakyky vaikeissa sääolosuhteissa sekä monimutkaisempi maalinosoitus ja -seuranta.

Su-35 -alustan ja Irbis E-tutkan testaukset ovat osoittaneet korkean suorituskyvyn. Pystyykö tutka todellisuudessa vastaamaan sille asetettuihin vaatimuksiin ja ilmoitettuun suorituskykyyn jää vielä avoimeksi. Mikäli tutka pääsee edes lähelle ilmoitettuja havaitsemisetäisyyksiä kasvattaa se venäläisten monitoimihävittäjien suorituskykyä merkittävästi. Neljänsadan kilo-

metrin havaitsemisetäisyys on yli kaksinkertainen esimerkiksi Su-27SM - ja MiG-35 - koneisiin verrattuna. Kyky pienen tutkapoikkipinta-alan kohteiden havaitsemiseen mahdollistaa vaikuttamisen vastustajan risteilyohjuksiin sekä myös uuden sukupolven monitoimihävittäjiin. Tutkan on todettu pystyvän havaitsemaan esimerkiksi F-35 -hävittäjä etäisyydeltä, joka mahdollistaa tehokkaan taktisen vaikuttamisen [25].

Su-35 kasvattaa Su-27 -perheen ilmasta-maahan suorituskyykyä risteilyohjusten myötä mahdollistaen vaikuttamisen vihollisen maa- ja merikohteisiin pitkältä etäisyydeltä.

Sukhoi-kirjallisuus on viitannut myös korkeatehoiseen häirintälähettimeen, joka pystyisi suojaamaan suurempiakin konemuodostelmia. ALQ-99 -lähetin onkin mahdollisesti jo kehitystyön alla ja se on mahdollista integroida Su-35 -alustaan erillisellä ripustimiin kiinnitettävällä säiliöllä [25].

Lähteestä riippuen Su-27SM:n on todettu olevan 50-60 prosenttia edeltäjänsä taistelutehokkaampi. Tähän vaikuttaa suuremmilta osin kattavampi asevalikoima ja kehittyneen rynnäkkökyvyn myötä laajentunut tehtäväkenttä. SM-versiolla on nyt myös kyky toimia vaikeissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Koneen on todettu olevan Kiinalle toimitetun Su-30MCK:n paranneltu versio. Suurin ongelma Su-27SM -koneessa on sen suuri koko, joka vaikuttaa niin ilmataisteluun kuin rynnäkkötehtäviin. Koneella ei ole minkäänlaista stealth-ominaisuutta eli sen tutkapoikkipinta-ala on suuri. Kone on helposti havaittavissa toisen koneen-, ilmapuolustusjärjestelmän- ja jopa maasta tapahtuvan visuaalisen havainnon toimesta.

Modernisoidut venäläiset monitoimihävittäjät kehittävät Venäjän ilmavoimien toimintaa ja niissä olevat tekniset ratkaisut pystyvät ainakin osin ratkaisemaan Venäjän viimeaikaisista sodista havaittuja puutteita. Niiden kyky toimia pimeällä vaikuttaa suuresti Venäjän ilma-aseen tehokkuuteen. Georgiassa elokuussa 2008 useampi venäläinen kone ammuttiin alas tutkakuksella ilmatorjuntaohjuksella (SA-11) niiden suorittaessa ilmatulitukitehtävää. Modernisoidut koneet pystyvät vaikuttamaan kyseisiin järjestelmiin tutkasäteilyyn hakeutuvilla ohjuksilla ja saatto-/taustahäirinnällä. Satelliittinavigointi-järjestelmä takaa koneen edeltäjiä tarkemman navigoinnin. Koneet pystyvät toteuttamaan elintärkeää ilmatulitukea maajoukkojen tukemiseen. Silti niiden käytettävissä olevat rynnäkköohjukset ja ohjatut pommit eivät tarjoa tarpeeksi tarkkaa osumistodennäköisyyttä kohteeseen.

MiG-35 on suunnattu ilmaherruustehtäviin, joksään rynnäkkötehtäviin sekä ilmatiedusteluun ja moniulotteisiin JOINT-tehtäviin. Ilmataisteluissa MiG-35:n etuna on erittäin hyvä liikku-

vuus ja ketteryys suihkuvirtausta suuntavan moottorin myötä. Yhdessä elektronisen ohjausjärjestelmän (FADEC) kanssa kone on erittäin tehokas näköetäisyyden sisäpuolella (WVR) tapahtuvassa ilmataistelussa. Tämä tekee MiG-35 -koneesta yhden tehokkaimmista lähi-ilmataisteluahvittajista. Modernisoidun avioniikan myötä koneen tulisi pystyä vastaamaan ilmataisteluissa jopa uusimmille monitoimihävittäjille. Elektronisesti keilaava AESA-tutka kasvattaa viholliskoneiden havaitsemisettäisyyttä ja mahdollistaa useimpien kohteiden lukitsemisen ilmataisteluissa. OLS-järjestelmä on kasvattanut koneen vaikutusettäisyyttä sekä mahdollistanut ohjaamon näytölle joko infrapunänäkymän, TV-moodin tai molempien toimintojen yhteisnäkymän. OLS-järjestelmä havaitsee matalan lämpölähteen (non-afterburning) ilmakohteen jopa yli 45 kilometrin etäisyydeltä muodostaen haasteen yhdysvaltain sotakoneiston lanseeraamalle ”first-look, first-shoot, first-kill” -konseptille. MiG-35 pystyy lukitumaan ilmakohteeseen passiivisestiIRST-laitteen myötä.

MiG-35:n salattu datalinkki mahdollistaa toiminnan osana monimutkaisia JOINT-operaatioita. Eri puolustushaarojen yhteistyö viimeaikaisissa sodissa on ollut heikkoa. MiG-35:n salatun datalinkin ja uuden kommunikaatioyhteyden avulla ongelmaan saattaa löytyä ainakin väliaikainen ratkaisu.

Koneeseen voidaan asentaa ulkoinen lisäsäiliö, jonka laserosoitus ja TV -järjestelmä laajentavat toimintamahdollisuuksia myös yöllä tapahtuvaan toimintaan. Uuden tutkan myötä löytynee ratkaisu myös navigointiongelmiin.

Venäjän asevoimien ylimmän johdon 1990-luvun alkupuolella määrittelemissä Venäjän asevoimien tehtävissä on havaittavissa selviä eroavaisuuksia vuonna 2002 silloisen Venäjän ilmavoimien komentajan kenraalileversti Vladimir Mihailovin ilmoittamiin ilmavoimien lähitulevaisuuden tehtäviin. Vielä 1990-luvulla Venäjän ilmavoimien tuli kyetä vaikuttamaan maan alueen ulkopuolelle. Sen sijaan 2000-luvun alussa Venäjän ilmavoimien tehtävät ovat selvästi puolustuksellisempia ja pyrkimys oli toimia pääasiassa maan rajojen sisäpuolella. Yksi suurin Venäjän asevoimien strateginen ongelma tällä hetkellä on kyvyttömyys projisoida voimaa kovin kauas Venäjän rajojen ulkopuolelle. Yhtenä syynä tähän voidaan pitää ilmavalvonta- ja tankkauskoneiden vähäisyyttä tehtävien tukemiseen. Asiaan ei voi olla vaikuttamatta Venäjän ilmavoimien vanhentunut konekalusto, johon uusien modernisaatioiden myötä on tulossa helpotusta. Modernisoitujen koneiden tehtäväkenttää on laajennettu, niiden hyötykuormaa niin lentokoneaseissa kuin polttoaineessa on kasvatettu ja näin ollen myös toimintamatkaa on saatu kasvatettua.



Vuonna 2000 voimaan tullut Venäjän sotilasdoktriini tunnistaa uusia sotilaallisia uhkatekijöitä, joita ovat muun muassa paikallisten sotien ja konfliktien leviäminen sekä organisoitu terrorismi ja sen monikansallinen luonne. Venäjän ilmavoimien kalustollinen kehittyminen mahdollistaa näiden uhkien kohtaamisen. Vaikka doktriinissa ei mainita laajamittaista sotaa on Venäjän asevoimat kykenevä varautumaan siihen. Vuodesta 2000 maailmanpoliittinen tilanne on muuttunut ja sen mukana myös Venäjän asevoimat. Se pystyy vastaamaan eriasteisiin konflikteihin ja vihamieliseen vaikuttajaan teknologisoituneista ja moderneista järjestelmistä huolimatta aivan kuten Venäjän entinen presidentti Vladimir Putin RIA Novostin lehdistärtikkelissä [88] toteaa. Tästä erinomaisena esimerkkinä toimii Venäjän ilmavoimien modernisoitu kalusto.

## 7. TULOKSET

Tutkielman tavoitteena on selvittää mitkä ovat uuden sukupolven taistelukoneiden kehityksen suuntaviivat. Tulevaisuuden suuntaviivojen hahmottamiseksi tutkielmassa on määritelty uuden sukupolven monitoimihävittäjä. Tässä luvussa kohdevaltioiden tämän hetkistä tilannetta on verrattu menneeseen ja näin on pyritty määrittämään myös tulevaisuuden kehitystrendejä. Lisäksi on pyritty selvittämään kohdevaltioiden konekaluston eroavaisuudet.

Uuden sukupolven monitoimihävittäjää ja siihen liittyviä piirteitä voidaan kuvata viidellä ominaisuudella: häiveominaisuus, nopeus/ketteryys ja kyky supercruise-ominaisuuteen, kehittynyt toiminta- ja suorituskyky, itsepuolustuskyky, joka koostuu tilannetietoisuudesta ja kasvaneesta selviytymisasteesta sekä älykkäät rakenteet ja sensorifuusio. Uuden sukupolven monitoimihävittäjän tärkein sensori on AESA-tutka.

Yhdysvalloilla on ainoa operatiivisessa käytössä oleva uuden sukupolven monitoimihävittäjä F-22A Raptor. Kaksimoottorinen hävittäjä yhdistää uuden sukupolven hävittäjien piirteitä muun muassa lento-ominaisuuksiltaan. Suihkuvirtauksen suuntauksella kone saavuttaa suuren liikkuvuuden. F-22 pystyy tunkeutumaan vihollisen ilmatilaan korkealta vaikeasti havaittavana yllääänisellä lentonopeudella ilman jälkipoltinta. Häiveominaisuus ja supercruise-ominaisuus korostuvat erityisesti taktisessa toimintaympäristössä.

Yhdysvaltojen massiivisella sotakoneistolla on myös F-35 Lightning II, joka läpikäy tällä hetkellä eriasteisia koelentoja ja testauksia. F-35 korvaa ja täydentää aikaisempia koneita hävittäjänä, joka yhdistää uuden sukupolven taistelu- ja lento-ominaisuuksia yhdessä kehittyneen toimintamatkan kanssa. F-35 Joint Strike Fighter on ensimmäinen monitoiminen ja monikan-

sallinen hävittäjä maailmassa, jolla on kyky tukeutua tukialuksiin, kyky suorittaa lyhyen matkan nousuja ja vertikaalisia laskuja sekä kyky operoida tutkassa vaikeasti havaittavana.

Yhdysvaltojen uuden sukupolven monitoimihävittäjiä edeltävät hävittäjät F-15, F-16 sekä F/A-18 ovat olleet käytössä aina 1970-luvulta asti. Niiden elinkaarta ja suorituskykyä on kasvatettu eritasoisten päivitysten myötä. Vaikka uuden sukupolven monitoimihävittäjät ovat teknologisesti kehittyneempiä ja suorituskykyisempiä, eivät ne pysty täysin korvaamaan edeltäviä konetyyppejä.

Kyseisten hävittäjien elinkaari ulottuu usean vuosikymmenen päähän, mutta jo nyt Yhdysvaltain ilmavoimat on suunnittelemassa korvaavaa seuraavan sukupolven ilma-alusta. F-35 -konetta on pidetty viimeisenä miehitettynä ilma-aluksena, jolloin seuraava konesukupolven on ennustettu olevan miehittämätön. Teknologian kehittyminen mahdollistaa jo nyt miehittämättömien ilma-alusten käyttämisen suhteellisen laajassa tehtäväkentässä.

Venäjän ilmavoimat on modernisoinut konekalustoaan vastaamaan nykypäivän ilmasodan haasteisiin. Erinomaisena esimerkkinä toimivat universaalin MiG-perheen modernisoinnit MiG-35:n johdolla sekä Su-27 -perheen modernisoinnit, tuoreimpana Su-35. Tuoreimmista venäläisistä hävittäjistä ainoastaan Su-27SM on operatiivisessa käytössä.

Modernisoituja monitoimihävittäjiä edeltäneet MiG-29 ja Su-27 olivat ilmataisteluun suunnattuja hävittäjiä, jotka ovat olleet käytössä 1980-luvulta lähtien. Verrattaessa koneita saman aikakauden yhdysvaltalaisiin hävittäjiin, olivat venäläiset MiG-29 ja Su-27 niitä jäljessä erityisesti aerodynaamisesti. Niiden käyttö on luonnollisesti rajoittunutta nykypäivän vaatimuksiin nähden. Näistä koneista modernisoidut MiG-35 - ja Su-35 -koneet omaavat tiettyjä uuden sukupolven monitoimihävittäjän piirteitä, kuten moniroolisuus sekä supercruise-ominaisuus. Konetyypit ovatkin elintärkeitä vanhentuvan konekaluston korvaajina ja ennen kaikkea venäläisen uuden sukupolven monitoimihävittäjän (PAK-FA) kehitys- ja suunnittelutyössä.

Venäjän uuden sukupolven monitoimihävittäjän kehittäminen ja sen käyttöön saaminen on venäläisen sotilasilmaluteollisuuden tämän hetken tärkein hanke. Projektia voidaan pitää koko sotilasilmaluteollisuuden toivona ja sen tulevaisuuden vaikutuksia ei voi väheksyä. Mielienkiintoisen projektista tekee se, että vielä ei ole edes julkaistu kuvaa siitä miltä uuden sukupolven venäläinen monitoimihävittäjä näyttää. Tulevaisuuden suuntaviivojen hahmottaminen on tässä tilanteessa erittäin haastavaa, sillä paljon riippuu siitä mitä maan uuden sukupolven monitoimihävittäjä pitää sisällään.

Tutkielman kohdevaltioiden konekalustossa on luonnollisesti tiettyjä eroavaisuuksia. Selvin ero kohdevaltioiden konekaluston välillä on häivetekniikassa, jonka käyttö yhdysvaltalaisissa ilma-aluksissa on selvästi kehittyneempää venäläisiin verrattuna. Myös komposiittimateriaalien käyttö venäläisessä kalustossa on rajoittuneempaa. Tutkielman konekaluston voimалаitteissa ja sensoritekniikassa on nähtävissä kohdevaltioiden suunnittelu ja sen tuomat eroavaisuudet.

Erityisesti Yhdysvaltojen sotilasilmailusuunnittelu on katsomassa tiukasti jo tulevaisuuteen ja seuraavan sukupolven ilma-alukseen. Suuntaus on selvästi menossa korkean häiveominaisuuksien miehittämättömään taisteluilma-alukseen. Yhdysvaltojen edistynein miehittämätön taisteluilma-alus on Boeing X-47. Miehittämättömien ilma-alusten tulevaisuutta suhteessa miehitettyihin ilma-aluksiin on suhteellisen vaikea määritellä. Tällä hetkellä miehittämättömillä ilma-aluksilla päästään useiden tuhansien kilometrien toimintamatkaan ja yli vuorokauden mittaiseen toiminta-aikaan. Silti niiden käytössä on tiettyjä rajoitteita perinteiseen miehitettyyn monitoimihävittäjään nähden. Tällä hetkellä miehittämättömien taisteluilma-alusten käyttö rajoittuu ainoastaan pommitustehtäviin ja rynnäkkötoimintaan. Kyseisten ilma-alusten käyttö ilmataisteluissa lienee vielä pitkään mahdotonta johtuen teknologian asettamista rajoitteista. Ilma-aluksiin ei vielä pystytä integroimaan sensoreita, jotka kykenevät tekemään menestyvän ilmataistelun vaatimia päätöksiä.

Venäjän sotilasilmailuteollisuus kehittää käyttöönsä myös miehittämättömiä ilma-aluksia. Tosin niiden kehittämiseen on käytetty huomattavasti vähemmän voimavaroja kuin Yhdysvalloissa. Uusin venäläinen miehittämätön taisteluilma-alus on MiG-yhtiön suunnittelema ”Skat”. Ensimmäinen versio ilma-aluksesta on miehitetty. Jatkossa ilma-alus tulee olemaan miehittämätön.

Vaikka tulevaisuuden ennustaminen on vaikeaa, tiettyjä suuntaviivoja voidaan ennustaa. Tulevaisuuden kehitystrendeiksi voidaankin nähdä useita vaihtoehtoja. Seuraavan sukupolven ilma-alus voi olla täysin miehittämätön, joka pystyisi suorittamaan tehtäviä vihollisen ilmapuolustuksen pommittamiseksi ja jopa lamauttamiseksi. Toinen vaihtoehto on, että seuraavan sukupolven ilma-alus on edelleen miehitetty. Koska uusimmat monitoimihävittäjät omaavat sodankäynnin kannalta jo merkittäviä ominaisuuksia, ei seuraavan sukupolven ilma-aluksessa tulla näkemään merkittäviä uusia teknologisia innovaatioita. Kehitystä tapahtunee sensoritekniikassa ja tilannekuvan jakamisessa eri toimijoille. Kolmas vaihtoehto on sekä miehitettyjen että miehittämättömien ilma-alusten yhteiskäyttö. Tämä tarkoittaisi molempien ilma-

alustyyppien vahvuuksien hyväksikäyttöä kokonaisvaltaisen vaikutuksen saavuttamiseksi. Miehittämätöntä ilma-alusta voitaisiin käyttää ennen varsinaista operaatiota tilannekuvan luomiseen tai vastaavasti operaation alkuhetkillä esimerkiksi vihollisen ilmapuolustuksen pehmittämiseen ja kuormittamiseen.

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa esitetään johtopäätöksiä edellisten lukujen perusteella. Venäjän sotilasilmailuteollisuus ei ole vielä saanut kehitettyä omaa uuden sukupolven monitoimihävittäjää operatiiviseen käyttöön. Tässä luvussa tehdään myös johtopäätöksiä siitä missä venäläinen uuden sukupolven hävittäjäsuunnittelu on Yhdysvaltoihin nähden, jolla ainoana valtiona on käytössä uuden sukupolven monitoimihävittäjä.

Valtaosa tutkimusaineistosta muodostuu sotilasaikakausijulkaisuista ja eri toimijoiden internet-julkaisuista. Tämä johtuu pääosin tutkielman aihealueesta, jossa uutta tietoa tulee jatkuvasti esiin. Tuorein materiaali löytyy yleensä artikkeleina eri aikakausilehdistä ja -julkaisuista. Tutkielman edetessä tieto on pyritty etsimään useasta lähteestä sen luotettavuuden kasvattamiseksi. Tutkielman aineistona on käytetty myös asiantuntijalähteitä, joiden käyttö perustuu tekijän tai yhteisön tunnettavuuteen tutkimusalan julkaisuissa ja tutkimuksissa. Aineistossa on lisäksi kolme mielipidekirjoitusta.

Vaikka seuraavan sukupolven ilma-alukselle ei vielä ole asetettu virallisia tavoitteita tai vaatimuksia on Yhdysvallat jo kovaa vauhtia kehittämässä sellaista. Seuraavan sukupolven ilma-aluksen ollessa mahdollisesti miehittämätön, on syytä pohtia sen tuomaa muutosta ilmasotaan. Jo tällä hetkellä miehittämättömiä ilma-aluksia voidaan ohjata hyvinkin kaukaa toiminta-alueesta ja tulevaisuudessa niiden käyttö tulee olemaan yhä enemmän strategista. Miehittämättömien ilma-alusten etu miehitettyihin verrattuna on niiden huomaamaton ja pitkäkestoinen käyttö kohdealueen päällä. Tiedustelutiedon tarve kasvaa jatkuvasti ja miehittämättömillä ilma-aluksilla tietoa voidaan kerätä strategisten tiedustelukoneiden tavoin ja tarjota sitä esimerkiksi hävittäjille tai monitoimihävittäjille. Lisäksi miehittämättömän ilma-aluksen selviytymisastetta voidaan parantaa miehitettyyn verrattuna, jonka selviytymisaste määräytyy miehistön mukaan. Tulevaisuudessa miehittämättömät ilma-alukset pystyttäneen sovittamaan erittäin suuriin lentonopeuksiin (yli 5 Mach), joka yhdistettynä korkeaan häiveteknologiaan ja rynnäköinti-/pommituskykyyn kasvattaisi ilma-alusten suorituskykyä merkittävästi.

Tarkasteltaessa venäläistä hävittäjäsuunnittelua on havaittavissa selviä eroavaisuuksia yhdysvaltalaiseen hävittäjäsuunnitteluun verrattuna. Venäläinen konesuunnittelu ei ole pystynyt tuottamaan häivetekniikkaa käyttäviä koneita suunnittelupöytää pidemmälle. Yhdysvaltojen osaaminen häivetekniikan osalta ulottuu aina 1980-luvulle asti ja kulminoituu nykypäivänä hävittäjissä parhaiten F-22A Raptorissa. Uusimmissa venäläisissä monitoimihävittäjissä niiden tutkapoikkipinta-alaa on saatu pienemmäksi niiden edeltäjiin nähden. Tämäkin on saavutettu pääosin muotoilun avulla. Merkittävä keino tutkakaikupinnan pienentämiseksi muotoilun ohella on vaimennusmateriaali eli RAM-teknologia (Radar Absorbing Material), jossa venäläinen suunnittelu on yhdysvaltalaista jäljessä.

Länsimaisessa hävittäjäsuunnittelussa erilaisten seosten ja komposiittien osuus rakenteen massasta on lisääntynyt. Uusien hävittäjähankkeiden materiaali koostuu pääosin alumiiniseoksista ja hiilikuitulujitetuista muovikomposiiteista. F-22A Raptorin rakenteen materiaalina on myös titaaniseosta, jonka käyttöä yleisemmin rajoittaa korkea hinta. Venäläinen sotilasilmaluteollisuus ei tällä hetkellä kykene komposiittimateriaalien massamaisiin tuotantoihin. Komposiittimateriaalien käyttö vähentää koneen painoa, kasvattaa rungon käyttöikää ja kestävyyttä sekä edesauttaa muun muassa häiveominaisuutta.

Muotoilun ja vaimennusmateriaalien ohella kohteen häiveominaisuutta voidaan parantaa plasman avulla. Venäläisessä häivesuunnittelussa on kyetty hyväksikäyttämään tätä osaluuetta suojaamalla hävittäjän tutka-antenni sähköisellä suojakuvulla. Plasman käyttö perustuu sähkökentän vaikutuksesta ionisoituvaan ilmaan, joka toimii tutkakaikupintana. Tietävästi myös Yhdysvallat ja sen B-2 -häivepommittaja käyttää hyväkseen plasmatekniikkaa. Mutta esimerkiksi maan uuden sukupolven hävittäjissä kyseistä tekniikka ei hyväksikäytetä. Tällä hetkellä plasmalla voidaan suojata vain kohteen pieniä osia. Joidenkin tietojen mukaan venäläinen tutkimus- ja kehitystyö on kyennyt suunnittelemaan plasmasuojageneraattorin, joka muodostaisi kokonaissuojan suurenkin kohteen ympärille. Generaattori on todettu olevan asennettavissa myös hävittäjiin. Teoreettisesti plasma on tunnettu jo vuosikymmeniä ja tulevaisuus näyttää mikä sen rooli tulee olemaan esimerkiksi sotilasilmailussa.

Tutka on monitoimihävittäjien tärkein sensori, jonka korkean suorituskyvyn mahdollistaa elektronisesti keilaava antenni (AESA). Yhdysvaltalaisissa uuden sukupolven hävittäjissä on AESA-tutkat, joiden kehitystä ovat ohjanneet useat aikaisemmat tutkat. Myös Venäjä on saanut kehitettyä sen ensimmäisen elektronisesti keilaavan AESA-tutkan Phazotron Zhuk-AE:n, joka on asennettu MiG-35 -alustaan. Tutkassa ilmenee sama perusteknologia kuin F-22A -hävittäjän APG-77 - ja F/A-18E/F -hävittäjän APG-79 -tutkissa. Sen on tosin todettu olevan

vain ensimmäisten yhdysvaltalaisen AESA-tutkien tasolla, kuten 1990-luvun APG-63 -tutka, jolla varustettiin pieni määrä F-15C -koneita. Su-35:ssä on Tikhomirov NIIP Irbis E-hybriditutka, jonka on todettu olevan lähetysteholtaan ja kantamaltaan kilpailukykyinen F-22A Raptorin APG-77 -tutkalle. Monimaalitalanteissa AESA-tutka on hybriditutkaa suorituskykyisempi sen tarjotessa nopeammin maalitietoa tutkaohjuksille. Tämä perustuu nopeampaan tiedonkeräämiseen ennen kaikkea sähköisesti keilaavan antennin myötä. Mielenkiintoiseksi venäläisen tutkasuunnittelun uuden sukupolven monitoimihävittäjän näkökulmasta tekee se, että PAK-FA:n tutkasuunnittelusta vastaa NIIP-yhtiö eikä ensimmäisen venäläisen AESA-tutkan kehittänyt Phazotron. Jo tähän lähtökohtaan vedoten voidaan todeta Venäjän olevan jäljessä AESA-tutkan suunnittelu- ja kehitystyössä ennen kaikkea uuden sukupolven venäläisen hävittäjän näkökulmasta.

Yhdysvaltojen sotilasilmailun katsoessa jo seuraavaan sukupolveen on Venäjän sotilasilmailun tulevaisuus riippuvainen maan uuden sukupolven monitoimihävittäjästä. Sen saattaminen operatiiviseen käyttöön on tosin vielä vuosien päässä, sillä esimerkiksi todellista työtä koneen lopullisen moottorin kanssa ei ole vielä edes aloitettu. Lisäksi koneen moottorin lopullinen valmistaja lienee vielä valitsematta. Venäjän sotilasilmailuteollisuuden tulisikin pyrkiä saavuttamaan kyky tuotteiden massamaisiin tuotantoihin sekä modernisoitujen että uusien kone-tyyppien käyttöön saaminen ilman lukuisia viivästyksiä.

## LÄHTEET

- [1] Aircraft List. [Online – Viitattu 11.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.airtoaircombat.com](http://www.airtoaircombat.com).
- [2] Air Force Magazine, April 2004, Vol.87, No. 4: The F/A-22 Force Forms Up.
- [3] Air Force Magazine, February 2005: The F/A-22, in Fire and Flak.
- [4] Air Force Magazine, April 2006, Vol.89, No. 4: The F-22 Is Battle Ready. Saatavilla [www-muodossa: http://www.afa.org/magazine/April2006/0406raptor.asp](http://www.afa.org/magazine/April2006/0406raptor.asp).
- [5] Air Force Magazine, September 2006: Struggling for Altitude.
- [6] Air Force Magazine, May 2008, s.14-16.
- [7] Air Force Monthly, February 2007, s.21.
- [8] Air Force Monthly, August 2008, s.75.
- [9] Air Force Monthly, November 2008, s.43-47.
- [10] Air International, May 2008, s.46.
- [11] AN/APG-81 AESA Radar for the F-35 Joint Strike Fighter. [Online – Viitattu 12.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.es.northropgrumman.com/solutions/f35aesaradar/index.html](http://www.es.northropgrumman.com/solutions/f35aesaradar/index.html).
- [12] An Illustrated Examination of Advanced Technology Warfare, 1985, s.101.
- [13] Another 24 Su-27 to be upgraded to Su-27SM, 2006. [Online – Viitattu 17.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.aviapedia.com/2006/11](http://www.aviapedia.com/2006/11).
- [14] Aviation Week & Space Technology, August 2005, s. 58.
- [15] Aviation Week & Space Technology, March 2008, s.19.
- [16] Aviation Week & Space Technology, World Military Aircraft Inventory, January 2009, s.253.
- [17] A-10/OA-10 Thunderbolt II. [Online – Viitattu 13.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/a-10-history.htm](http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/a-10-history.htm).
- [18] A-10/OA-10 Thunderbolt II. [Online – Viitattu 13.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.af.mil/factsheets/factsheets.asp?fsID=70](http://www.af.mil/factsheets/factsheets.asp?fsID=70).
- [19] BBC News, February 16, 1998: Top Gun – the F-117 Stealth Fighter [Online – Viitattu 7.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://news.bbc.co.uk/1/hi/special\\_report/Iraq/57173.stm](http://news.bbc.co.uk/1/hi/special_report/Iraq/57173.stm).

- [20] Brookes, Andrew. Taming the bear, Air International, August 2004.
- [21] Combat Aircraft: Red Stars Fighters, February-March 2009.
- [22] Compare Military Aircraft Side-by-Side. [Online – Viitattu 5.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.militaryfactory.com/aircraft\\_comparison.asp](http://www.militaryfactory.com/aircraft_comparison.asp).
- [23] Defense News, February 2008, s.24.
- [24] Defence Today: MAPO-MiG MiG-35 Fulcrum F, January/February 2008.
- [25] Defence Today: Su-35BM/Su-35-1 Flanker E Plus, January/February 2008.
- [26] Drew, Dennis M: Desert Storm as a Symbol, 1992 [Online – Viitattu 23.4.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj92/fall92/drew2.htm>.
- [27] Everest E. Riccioni: The F-22 Program – Fact versus Fiction, 2000. [Online – Viitattu 24.8.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.pogo.org/p/defense/do-00812-f22.htm>.
- [28] F/A-18 Hornet. [Online – Viitattu 13.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/f-18.htm>.
- [29] Flight International, December, 2005, s.19.
- [30] Flight International, 24.-30.4.2007, s.7.
- [31] F-22A Raptor Advanced Tactical Fighter Aircraft US Air Force, USA. [Online – Viitattu 24.4.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.airforce-technology.com/projects/f22/>.
- [32] F-22 Raptor. [Online – Viitattu 24.4.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.af.mil/factsheets/factsheet.asp?fsID=199>.
- [33] F-22 Raptor. [Online – Viitattu 24.4.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.globalaircraft.org/planes/f-22\\_raptor.pl](http://www.globalaircraft.org/planes/f-22_raptor.pl).
- [34] F-22 Raptor Dominating the Skies. [Online – Viitattu 5.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.lockheedmartin.com/products/f22/index.html>.
- [35] F-22 Raptor, 2008. [Online – Viitattu 23.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.f22-raptor.com/>.
- [36] F-35 Joint Strike Fighter (JSF). [Online – Viitattu 9.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/f-35.htm>.
- [37] F-35 Joint Strike Fighter (JSF) Lightning II. [Online – Viitattu 14.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-35.htm>.
- [38] F-35A Lightning II. [Online – Viitattu 9.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.is.northropgrumman.com/systems/f35jsf\\_ctol.html](http://www.is.northropgrumman.com/systems/f35jsf_ctol.html).



- [39] F-35 Lightning II – Joint Strike Fighter (JSF), International. [Online – Viitattu 9.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.airforce-technology.com/projects/jsf/>.
- [40] F-35 Lightning II, The Future Is Flying. [Online – Viitattu 13.9.2008]. Saatavilla www-muodossa: [https://www.teamjsf.com/jsf/data.nsf/public/A13E2CA36841699F8525746500437642/\\$file/F-35Brochure.pdf](https://www.teamjsf.com/jsf/data.nsf/public/A13E2CA36841699F8525746500437642/$file/F-35Brochure.pdf).
- [41] Gordon, Yefim: Famous Russian Aircraft Mikoyan MiG-29, 2006.
- [42] Gordon, Yefim: Russia's Military Aircraft in the 21<sup>st</sup> Century, 2006.
- [43] Hautala, Jukka - Kakkola, Timo - Kaukoranta, Timo: Taisteluvälineet 2020, Tekniikan laitos, Julkaisusarja 1 n:o 10/2002.
- [44] How To Make Plane Disappear From Radar. [Online – Viitattu 3.9.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.f-22raptor.com/st\\_fa22tricks.php](http://www.f-22raptor.com/st_fa22tricks.php).
- [45] Iivonen, Antti: Venäjän puolustusteollisen kompleksin (OPK) nykytila ja kehitysnäkymät, Taktiikan laitos, Julkaisusarja 1, n:o 1/2003 s.60.
- [46] Ilmatorjunta 1/2008, s.42.
- [47] Ilmatorjunta 3/2008, s.33–37.
- [48] Ilmatorjuntaupseeri: Su-27SM, 3/3004.
- [49] Indian Times: Indo-Russian 5<sup>th</sup> generation fighter to take-off by 2012, 30.10.2007. [Online – Viitattu 26.8.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://timesofindia.indiatimes.com/World/Europe/Indo-Russian\\_5th\\_generation\\_fighter\\_to\\_take-off\\_by\\_2012/articleshow/2503005.cms](http://timesofindia.indiatimes.com/World/Europe/Indo-Russian_5th_generation_fighter_to_take-off_by_2012/articleshow/2503005.cms).
- [50] Irakin ilmasota [Online – Viitattu 22.4.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.sci.fi/~fta/Irakin\\_ilmasota.htm](http://www.sci.fi/~fta/Irakin_ilmasota.htm).
- [51] Jane's Air-Launched Weapons, Issue Forty-eight, 2006.
- [52] Jane's All the World's Aircraft 2007-2008. Ninety-eight year of issue, 2007.
- [53] Jane's International Defense Review, 2/2004, s.17.
- [54] Jauhiainen, Ari – Matero, Pasi – Mikkonen, Jari. Venäjän viidennen sukupolven torjuntahävittäjien kehittäminen. Maanpuolustuskorkeakoulu. Esiupseerikurssin opinnäytetyö, 1999.
- [55] Kelloniemi, Pertti – Marjamaa, Pekka - Myyryläinen, Jyrki – Valolahti, Markku. Venäjän sotilasilmateollisuuden nykytila ja kehitysnäkymät. Maanpuolustuskorkeakoulu. Taktiikan asiantietoa, julkaisusarja 2 N:o 3/1998.
- [56] Kh-59M/ME and Kh-59MK. [Online – Viitattu 14.9.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.janes.com/extracts/extract/jalw/jalw2925.html>.

- [57] Lambeth, Benjamin S: Control of the Air – The Future of Air Dominance and Offensive Strike, 1999 [Online – Viitattu 22.4.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://idun.itsc.adfa.edu.au/ADSC/Air/Air Paper Lambeth.html](http://idun.itsc.adfa.edu.au/ADSC/Air/Air Paper Lambeth.html).
- [58] Lefebvre, Stephane: Difficult Times for the Russian Air Force, 1992-2002. Military Studies – Journal of Slavic Military Studies, vol 16/2003, s.44–45.
- [59] Lehto, Jyri. Taustatutkimus 5. sukupolven hävittäjän tärkeimmistä ominaisuuksista ilmataistelun kannalta. Maanpuolustuskorkeakoulu. Esiupseerikurssin opinnäytetyö, 2008.
- [60] Lockheed's F-22 Raptor Gets Zapped by International Date Line, 2007. [Online – Viitattu 25.8.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.dailytech.com/article.aspx?newsid=6225](http://www.dailytech.com/article.aspx?newsid=6225).
- [61] Lockheed Martin F-35 Lightning II Multi-Role Fighter. [Online – Viitattu 9.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.aerospaceweb.org/aircraft/fighter/f35/](http://www.aerospaceweb.org/aircraft/fighter/f35/).
- [62] Mannismäki, Eero. Sotilasilmaluteollisuuden kehityksestä ja nykytilasta. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma, 2007.
- [63] Maritime Strike Using The F-22A Raptor. [Online – Viitattu 6.10.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.ausairpower.net/Raptor-ASuW.html](http://www.ausairpower.net/Raptor-ASuW.html).
- [64] McDonnell Douglas/British Aerospace AV-8B Harrier II Attack Aircraft. [Online – Viitattu 13.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.aerospaceweb.org/aircraft/attack/av8/](http://www.aerospaceweb.org/aircraft/attack/av8/).
- [65] MiG-29K, 25.10.2008. [Online – Viitattu 12.11.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.deagel.com/Strike-and-Fighter-Aircraft/Mig-29K\\_a000357003.aspx](http://www.deagel.com/Strike-and-Fighter-Aircraft/Mig-29K_a000357003.aspx).
- [66] MiG-29OVT Fulcrum, 2007. [Online – Viitattu 18.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/mig-29ovt.htm](http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/mig-29ovt.htm).
- [67] MiG-29 Evolves into MiG-35, 2006. [Online – Viitattu 18.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.ato.ru/eng/cis/archive/10-2005/defense/news4/?sess\\_ =16f81c44ba84a4e6359e07c750a3de42](http://www.ato.ru/eng/cis/archive/10-2005/defense/news4/?sess_ =16f81c44ba84a4e6359e07c750a3de42).
- [68] MiG-29, 2006. [Online – Viitattu 18.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.sci.fi/~fta/MiG-29.htm](http://www.sci.fi/~fta/MiG-29.htm).
- [69] MiG-35/MiG-35D, 2007. [Online – Viitattu 14.11.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.migavia.ru/eng/military\\_e/MiG\\_35\\_e.htm](http://www.migavia.ru/eng/military_e/MiG_35_e.htm).
- [70] MiG-35/1.42 Multirole Front-Line Fighter, 1999. [Online – Viitattu 16.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/row/mfi.htm](http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/row/mfi.htm).
- [71] MiG-39/1.42 MFI, 1999. [Online – Viitattu 16.5.2008]. Saatavilla [www-muodossa: http://warfare.ru/?linkid=1608&catid=255](http://warfare.ru/?linkid=1608&catid=255).

- [72] Military Technology, August 2005, s.50-52.
- [73] Military Technology, December 2005. s.72.
- [74] Military Technology, July 2008, s.40-43.
- [75] Military Technology, July 2008, s.44-46.
- [76] Military Parade, May-June 1999, s.54-56.
- [77] Military Parade, January 2008, s.28–30.
- [78] PAK FA Sukhoi T-50, 2007. [Online – Viitattu 26.8.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.warfare.ru/?catid=255&linkid=2280>.
- [79] PAK FA, 2006. [Online – Viitattu 26.8.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/pak-fa.htm>.
- [80] Phazotron Zhuk-AE/ASE, Assessing Russia's First AESA, 2008. [Online – Viitattu 20.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.ausairpower.net/APA-Zhuk-AE-Analysis.html>.
- [81] Phazotron Zhuk AE AESA radar. [Online – Viitattu 13.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.defense-update.com/features/du-1-07/aesaradar\\_zhuk\\_AE.htm](http://www.defense-update.com/features/du-1-07/aesaradar_zhuk_AE.htm).
- [82] Raatikainen, Timo. Tulevaisuuden taistelukone – Venäläinen näkökulma. Kandidaatin tutkielma. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2004.
- [83] RIA Novosti: Hard-hitting Russian Fighter Set to Win Indian Tender, 2007. [Online – Viitattu 14.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://en.rian.ru/analysis/20070913/78570357-print.html>.
- [84] RIA Novosti: Su-35, A Younger Son of Su-27, 9.7.2008. [Online – Viitattu 17.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://en.rian.ru/analysis/20080709/113624747.html>.
- [85] RIA Novosti: The fifth-generation fighter, 2009. [Online – Viitattu 31.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://en.rian.ru/analysis/20090123/119772349.html>.
- [86] RIA Novosti: Russian Defense Spending to Grow 20% in 2008, to \$40 billion, 2008. [Online – Viitattu 6.9.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.air-attack.com/news/news\\_article/3043/Russian-defense-spending-to-grow-20-in-2008-to-40-bln.html](http://www.air-attack.com/news/news_article/3043/Russian-defense-spending-to-grow-20-in-2008-to-40-bln.html).
- [87] RIA Novosti: Russia, India To Develop New BrahMos Cruise Missile, 29.9.2008.
- [88] RIA Novosti: Russia Revises Military Doctrine To Reflect Global Changes, 6.3.2007.
- [89] RIA Novosti: Russia Sells Its Latest Fighter Jets to India, 23.2.2007. [Online – Viitattu 14.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://en.rian.ru/analysis/20070223/61154444.html>.

- [90] RIA Novosti: Russia to build fifth-generation fighter prototype soon [Online – Viitattu 21.4.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://en.rian.ru/russia/20070808/70574505.html>.
- [91] RIA Novosti, 7.2.2007. [Online – Viitattu 11.11.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://en.rian.ru/russia/20070207/60332223.html>.
- [92] Russia – Air Force, 2008. [Online – Viitattu 26.8.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.janes.com>.
- [93] Second-Generation Su-27s & Derivatives, 2007. [Online – Viitattu 18.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.vectorsite.net/avsu27\\_2.html#m3%20Second-Generation%20Su-27s%20&%20Derivatives](http://www.vectorsite.net/avsu27_2.html#m3%20Second-Generation%20Su-27s%20&%20Derivatives).
- [94] Simulator Sharpens Raptor's Claws, 2000. [Online- Viitattu 6.10.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.afcea.org/SIGNAL/articles/templates/SIGNAL\\_Article\\_Template.asp?articleid=657&zoneid=124](http://www.afcea.org/SIGNAL/articles/templates/SIGNAL_Article_Template.asp?articleid=657&zoneid=124).
- [95] Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 STAE 2025, osa 1. Teknologian kehitys. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Ylöjärvi 2008.
- [96] Sotilasaikakausilehti, 12/2008, s.62.
- [97] State of the Russian Air Force [Online – Viitattu 31.1.2009] Saatavilla www-muodossa: <http://www.warfare.ru/?catid=241&linkid=2180>.
- [98] Sukhoi Success Boosts Russian Economy, 2006. [Online- Viitattu 5.9.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.ato.ru/rus/cis/archive/3-2003/defense/?sess\\_ =1a3bcb035684448b206990aef2fcea21](http://www.ato.ru/rus/cis/archive/3-2003/defense/?sess_ =1a3bcb035684448b206990aef2fcea21).
- [99] Su-27SM, 2007. [Online – Viitattu 17.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/su-27sm.htm>.
- [100] Su-27SM, 2007. [Online – Viitattu 17.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.strategypage.com/htm/w/htairfo/articles/20071216.aspx?comments=Y>.
- [101] Su-27, 2008. [Online- Viitattu 17.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: [http://www.deagel.com/Strike-and-Fighter-Aircraft/Su-27\\_a000320001.aspx](http://www.deagel.com/Strike-and-Fighter-Aircraft/Su-27_a000320001.aspx).
- [102] The use of Russian Air Power in the Second Chechen War, 2006 [Online – Viitattu 15.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://red-stars.org>.
- [103] United States – Air Force, 2008 [Online – Viitattu 27.8.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.janes.com>.
- [104] US Air Force Clears the F-22A Raptor for Operational Duty. [Online – Viitattu 4.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.dailytech.com>.
- [105] USAF's F-22A Raptor Still Flying High After 1-Year Mark. [Online – Viitattu 4.5.2008]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.dailytech.com>.

- [106] Vremya Novostey, Jan. 12, s.4.
- [107] 5th Generation Fighters, The Future Has Clearly Arrived, Lockheed Martin.
- [108] [Online – Viitattu 5.9.2008]. Saatavilla www-muodossa: [www.globalsecurity.org](http://www.globalsecurity.org).
- [109] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.aerospaceweb.org>.
- [110] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.airforce-technology.com>.
- [111] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.ausairpower.net>.
- [112] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.boeing.com>.
- [113] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.defenseindustrydaily.com>.
- [114] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.fas.org>.
- [115] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.flightglobal.com>.
- [116] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.jsf.mil>.
- [117] [Online – Viitattu 28.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: <http://www.lockheedmartin.com>.

**LIITTEET**

LIITE 1	Tutkielmassa esiintyvät lyhenteet
LIITE 2	Aineistoanalyysi
LIITE 3	Aikaisemmat tutkimukset
LIITE 4	F-22A Raptor
LIITE 5	F-22A Raptorin aseistus
LIITE 6	F-35A Lightning II koelennolla
LIITE 7	F-35A Lightning II:n aseistus
LIITE 8	Su-27SM
LIITE 9	Su-35BM/Su-35-1 Flanker E Plus
LIITE 10	MiG-35 Fulcrum F
LIITE 11	F-22 -koneeseen tehdyt muutokset YF-22 -prototyyppiin verrattuna
LIITE 12	F-22A Raptorin asetaulukko
LIITE 13	F-35 Lightning II:n asetaulukko
LIITE 14	Su-27SM- ja Su-35 -koneiden asetaulukko
LIITE 15	MiG-35:n asetaulukko
LIITE 16	PAK-FA:n asetaulukko

## TUTKIELMASSA ESIINTYVÄT LYHENTEET

ADRS	Advanced Dynamic Radio frequency Simulator
AESA	Active Electronically Scanned Array
AEW&C	Airborne Early Warning and Control
AGM	Air-to-Ground Missile
AMRAAM	Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile
AMSTE	Affordable Moving Surface Target Engagement
ASRAAM	Advanced Short Range Air-to-Air Missile
ATF	Advanced Tactical Fighter
AWACS	Airborne Warning And Control Systems
BVR	Beyond Visual Range
CEP	Circular Error Propable
COTS	Commercial Off-the-Shelf
CTOL	Conventional Take-Off and Landing
CV	Carrier Variant
DAIRS	Distributed Aperture Infrared Sensor
EBO	Effects Based Operations
ECM	Electronic Counter Measures
ECCM	Electronic-Counter-Counter-Measure
ELINT	Electronic Intelligence
EOSS	Electro-Optical Sensor System
EOTS	Electro-Optical Targeting System
EWSP	Electronic Warfare Self Protection
FADEC	Full Authority Digital Electronic Control
FLIR	Forward Looking Infra-Red
GBU	Guided Bomb Unit
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema – Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HARM	High-speed Anti-Radiation Missile
HMDS	Helmet Mounted Display System
HOTAS	Hands On Throttle-And-Stick

HUD	Head-Up Display
IFDL	Intra-Flight Datalink
IFF	Identification Friend or Foe
INS	Inertial Navigation System
IRST	Infra-Red Search and Tracking
IRCM	Infrared Counter Measures
ISAR	Inverse Synthetic Aperture Radar
JASSM	Joint Air-to-Surface Standoff Missile
JASSM-ER	Joint Air-to-Surface Standoff Missile – Extended Range
JSF	Joint Strike Fighter
JDAM	Joint Direct Attack Munition
JSTARS	Joint Surveillance Target Attack Radar System
JSOW	Joint Standoff Weapon
KAB	Korrektiruyemaya Aviatsionnaya Bomba – Adjustable aircraft bomb
KnAAPO	Komsomolsk-on-Amur Aviation Production Association
LCD	Liquid Crystal Display
LERX	Leading Edge Rooting Extension
LFI	Legkij Frontovoy Istrebitel
LOCAAS	Low Cost Autonomous Attack System
LWR	Laser Warning Receiver
MAWS	Missile Approach Warning System
MFI	Mnogofunktsionalni Frontovoi Istrebiel
NIIP	Nauchno-Issledovatel'skiy Priborostroyeniya
OVT	Otklonyayemyy Vektor Tyaghi - Thrust vector control
PAK-FA	Perspektivnyi Aviatsionnyi Kompleks Frontovoi Aviatsyi – Prospective Aviation Complex for Frontal Aviation
RAM	Radar Absorbent Material
RCS	Radar Cross Section
RWR	Radar Warning Receiver
SAR	Synthetic Aperture Radar
SDB	Small Diameter Bomb
SEAD	Suppression of Enemy Air Defences
STOVL	Short Take-Off and Vertical Landing
UCAV	Unmanned Combat Air Vehicle



USAF	United States Air Force
USMC	United States Marine Corps
UOMZ	Ural Optical and Mechanical Plant
V/STOL	Vertical/Short Take-Off and Landing
WVR	Within Visual Range

## AINEISTOANALYYSI

## Mielipidekirjoitukset:

Tutkielman aineistossa on kolme mielipidekirjoitusta. Benjamin S. Lambeth on vanhempi politiikan tutkija, joka on erikoistunut Venäjän ja Yhdysvaltojen ulko- ja puolustuspoliittisiin menettelytapoihin. Hän on julkaissut useita eri kirjoituksia muun muassa Yhdysvaltojen ja Venäjän ilma-aseen käytöstä eri kriiseissä ja sodissa.

Everest E. Riccione on entinen Yhdysvaltojen ilmavoimien upseeri ja lentokonesuunnittelija. Näin ollen Riccione on lähellä asioita joista puhuu. Silti hänen julkaistuja mielipidekirjoituksia on pidetty hyvin kapeakatseisina ja kriittisinä. Myös tutkielmassa käytetty mielipidekirjoitus F-22A Raptorista lähestyy aihetta hyvin kriittisestä näkökulmasta. Kyseinen mielipidekirjoitus on julkaistu vuonna 2000, jolloin F-22A Raptor ei ollut vielä operatiivisessa käytössä eikä siitä vielä tällöin ollut saatavilla konkreettista näyttöä.

Dennis M. Drew on entinen Yhdysvaltojen ilmavoimien upseeri. Hän on yliopiston professori (Air University) ja eläkkeelle jäätyään toiminut muun muassa sotilasstrategian professorina. Tutkielmassa käytetty Drewn mielipidekirjoitus käsittelee vuonna 1991 alkanutta Persianlahden sotaa. Mielipidekirjoitus tuo konkreettisesti esille niitä muutoksia, joita menestyvä sodankäynti vaatii muuttuvassa sodankäynnin kentässä. Kyseistä mielipidekirjoitusta voidaan pitää myös tutkimuksena, sillä siinä esitetyt asiat ovat ohjanneet nykypäivän sodankäyntiä ja siinä tapahtuneita muutoksia.

## Asiantuntijalähteet:

Tutkielmassa käytetyt asiantuntijalähteet ovat sotilasilmailun eri alojen asiantuntijoiden kirjoituksia ja julkaistuja teoksia. Lisäksi asiantuntijalähteinä on käytetty tutkielman aiheeseen liittyviä tunnettuja kokoelmia ja julkaisuja, joiden kirjoittajan tai yhteisön nimi tulee toistuvasti esille alan julkaisuissa. Näistä mainittakoon muun muassa Yefim Gordon, Carlo Kopp, Jane's -tietokannat, Federation of American Scientists -internetsivusto sekä Air power Australia -internetsivusto. Osa sotilasaikakauslehdissä julkaistuista artikkeleista voidaan osaltaan pitää myös asiantuntijalähteinä, perustuen niiden kirjoittajan tunnettavuuteen. Näitä julkaisuja ovat esimerkiksi Ilmatorjuntaupseeri, Ilmatorjunta, Defence Today ja Combat aircraft.

Sotilasaikakausijulkaisut ja eri yhteisöjen internet-sivustot:

Valtaosa tutkielman aineistosta on sotilasaikakausijulkaisuista ja eri toimijoiden internet-sivustoilta. Tutkimustieto muuttuu ja päivittyy jatkuvasti johtuen tutkielman aihealueesta ja sen tuoreudesta. Tutkimusaineistona onkin pääasiallisesti pyritty käyttämään tuoreita lähteitä. Tuorein aineisto on tieteellisissä julkaisuissa artikkeleina. Tietyillä internet-sivustoilla esitetty tieto on harhaanjohtavaa ja niiden käyttötarkoituksena on tiettyjen tuotteiden markkinointi. Tutkimusaineistossa on käytetty muutaman eri tuotevalmistajan internet-sivustoja ja niiltä saatavaa esittelymateriaalia, joissa julkaistuja tietoja on käsitelty tietyllä varauksella. Tutkielmassa tietoja on pyritty etsimään useasta lähteestä niiden luotettavuuden kasvattamiseksi. Tutkimusaineistona on pyritty käyttämään sotilasaikakausijulkaisuja, jotka ovat tulleet toistuvasti esille alan tutkimuksissa ja julkaisuissa. Näitä julkaisuja ovat esimerkiksi Air International, Air Force Monthly, Air Force Magazine, Flight International, Military Technology ja Military Parade. Lisäksi tutkielmassa on käytetty Venäjän kansainvälisen tietotoimisto RIA Novostin artikkeleita.

## AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

Vuonna 1999 Ari Jauhiainen, Pasi Matero ja Jari Mikkonen tutkivat esiupseerikurssin opin-  
näytetyössä Venäjän viidennen sukupolven torjuntahävittäjien kehittämistä. Työn keskeisim-  
pänä tuloksena on todettu venäläisen hävittäjäsuunnittelun painopisteen olevan uuden hävittä-  
jäsuukupolven suunnittelussa sekä silloisen konekaluston modifioimisessa ja eliniän pidentä-  
misessä. Työssä on lisäksi arvioitu, että kehityksen painopiste olisi siirtymässä kevyisiin mo-  
nitoimihävittäjiin. Nykyiset suuntaviivat osoittavat arvion virheelliseksi. Luonnollisesti asiaan  
vaikuttaa se, että venäläisessä hävittäjäsuunnittelussa ja ilmailuteollisuudessa on tapahtunut  
paljon opinnäytetyön laadinnan jälkeen.

Marraskuussa 2004 Timo Raatikainen tutki kandidaatin opinnäytetyössään ”Tulevaisuuden  
taistelukone - venäläinen näkökulma” Venäjän hävittäjäprojektien tilaa. Opinnäytetyön kes-  
keisimpänä tutkimustuloksena on, että Venäjän tulee kehittämään kilpailukykyisen uuden su-  
kupolven hävittäjän sekä omaan käyttöön että maailmanmarkkinoille. Työssä mainitaan myös,  
että julkisuudessa olleet aikataulut koneen käyttöönotosta vuonna 2010 ovat liian optimistisia.  
Opinnäytetyö käsittelee hävittäjähankkeisiin vaikuttavia ja ohjaavia tekijöitä sekä erikseen va-  
littuja tulevaisuuden lentävän järjestelmän ominaisuuksia. Varsinaisten koneiden tarkastelu  
jää melko suppeaksi, johtuen osaksi opinnäytetyön luonteesta.

Vuonna 1998 Pertti Kelloniemi, Pekka Marjamaa, Jyrki Myyryläinen ja Markku Valolahti  
laativat Yleisesikuntaupseerikurssin Ilmasotalinja 22:n seurantaraportin, jonka päämääränä oli  
selvittää Venäjän sotilasilmailuteollisuuden nykytila sekä arvioida teollisuuden ja sen tär-  
keimpien tuotteiden – lentokoneiden ja niiden asejärjestelmien kehitysnäkymiä. Seurantara-  
portissa muodostetaan selvä kuva Venäjän sotilasilmailuteollisuuden sen hetkisestä tilasta ja  
käynnissä olleista hävittäjäprojekteista. Raportissa esitetyt tulevaisuuden suuntaviivat voidaan  
tällä hetkellä todeta paikkaansa pitäviksi. Raportin mukaan mikään siinä esitetty uusi hävittä-  
jäkone ei pääse lähitulevaisuudessa sarjatuotantoon. Venäjän sotilasilmailuteollisuudessa ta-  
pahtuneista viimeaikaisista muutoksista johtuen seurantaraportti on tällä hetkellä vanhentunut  
ja sen käyttö rajoittuu nykyisten hävittäjäprojektien kehityshistorian selvittämiseen.

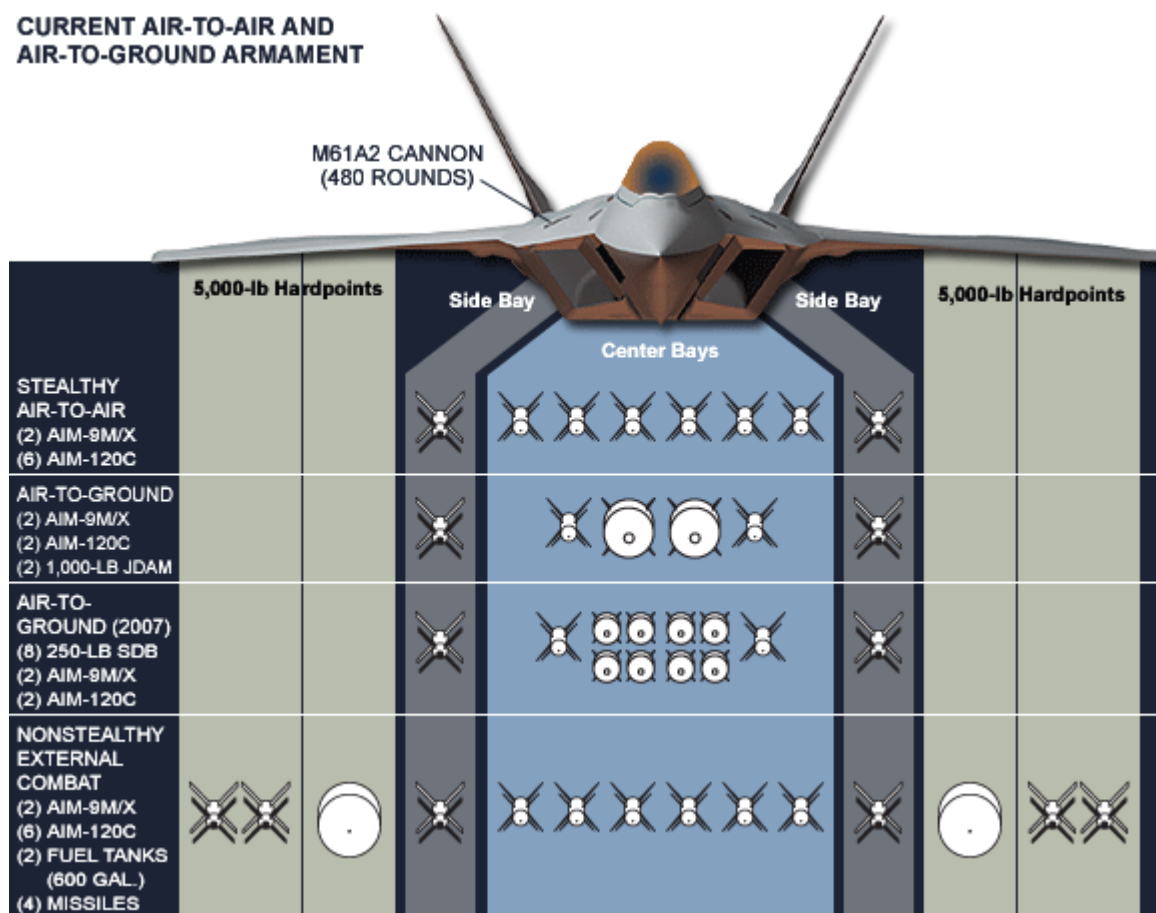
Vuonna 2008 Jyri Lehto laati Esiupseerikurssin opinnäytetyön 5. sukupolven hävittäjän tärkeimmistä ominaisuuksista ilmataistelun kannalta. Työ käsittelee taktisesta näkökulmasta uuden sukupolven hävittäjien merkityksellisiä ominaisuuksia ilmataistelussa. Laatija jopa kyseenalaistaa ilmataistelun periaatteiden ja taktiikan tarpeellisuutta uusimpien hävittäjien toiminnassa. Työ käsittelee lähinnä vain F-22A Raptoria ja siihen liittyvää aineistopohjaa. Yhdysvaltalaisen F-35:n ja venäläisen PAK-FA -konseptin käsittely jää hyvin pintapuoliseksi työn rajauksesta johtuen.

Vuonna 2007 Eero Mannismäki tutki pro gradu tutkielmassaan sotilasilmaluteollisuuden kehitystä ja nykytilaa. Tutkielma perehtyy länsimaiseen ja venäläiseen sotilasilmailuun tavoitteena selvittää niiden nykytila ja taustatekijät sekä luoda näiden perusteella tulevaisuuden kehitysnäkymiä. Tutkielman perehtyy hyvin pintapuolisesti varsinaiseen konekalustoon niiden jäädessä vain maininta-asteelle.



F-22A Raptor [113]

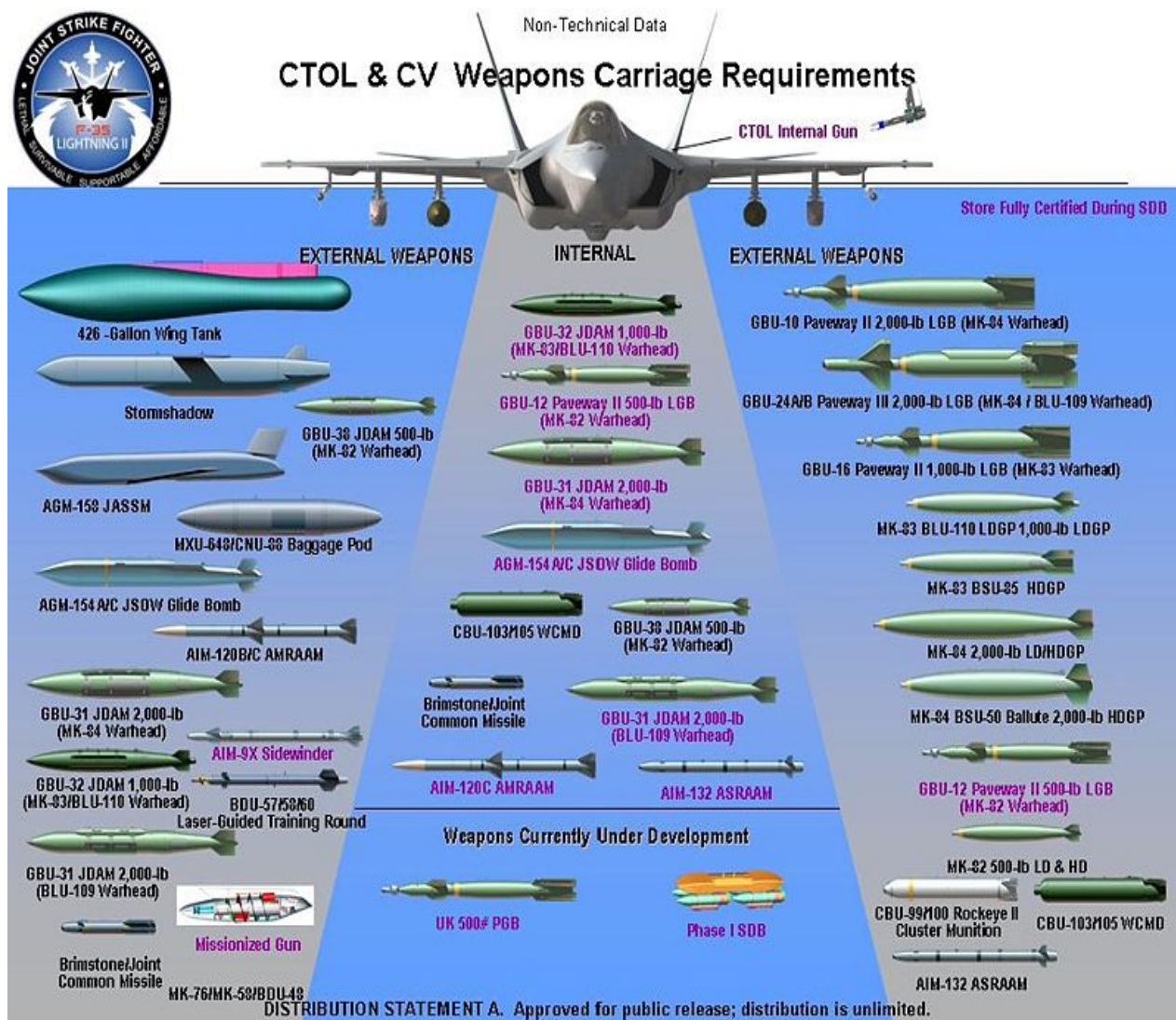
## F-22A Raptorin aseistus [108]





F-35A Lightning II koelennolla [115]





F-35 Lightning II:n aseistus [116]



Su-27SM [107]



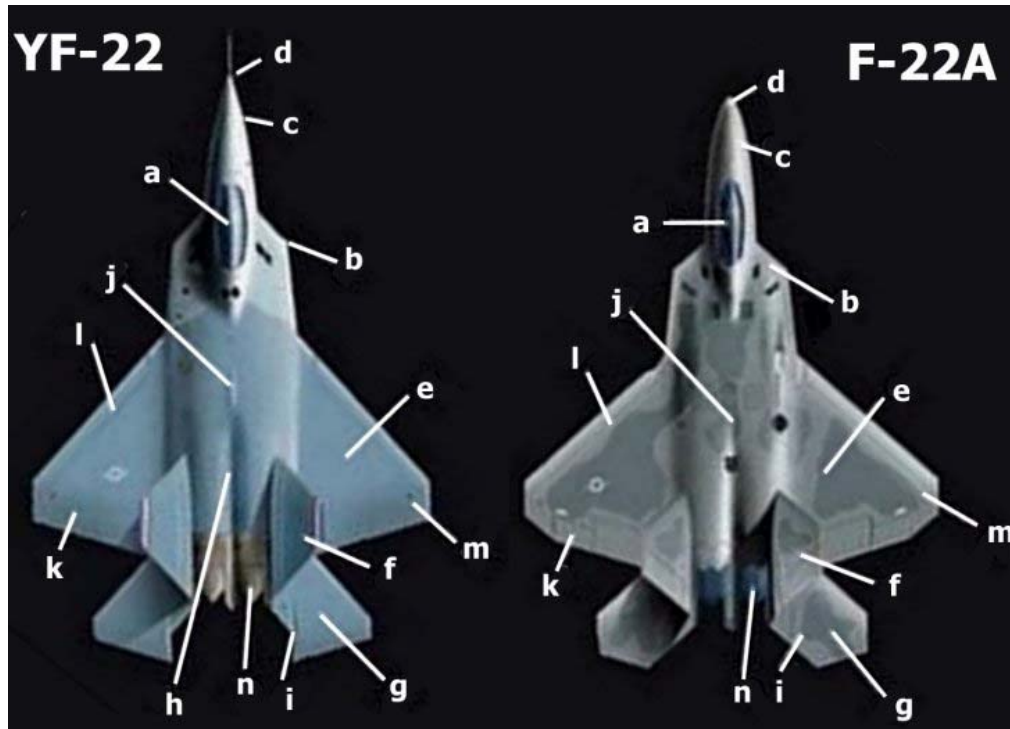
Su-35BM/Su-35-1 Flanker E Plus [110]



MiG-35 Fulcrum F [110]



F-22A Raptoriin tehdyt muutokset YF-22 -prototyyppiin verrattuna (alkuperäisen kuvan pohjalta) [113]



F-22A Raptorissa on tehty monenlaisia muutoksia YF-22 -prototyyppiin nähden:

- (a) ohjaamo on siirretty eteenpäin ja (b) sisäänottoaukkoa taaksepäin, jolloin sekä koneen aerodynamiikka sekä pilotin näkyväisyys ovat parantuneet.
- (c) radomea on uudelleen muotoiltu ja (d) keulassa ollut pitot-putki on poistettu.
- (e) siipiä on muotoiltu ja kehitetty paremman liikkuvuuden saavuttamiseksi.
- (f)(g) tuulitunnelitestien myötä pystyvakaajia pienennettiin ja horisontaalisia vakaajia suurennettiin.
- (h) ilmajarru poistettiin.
- (j) ilmatankkausjärjestelmä muutettiin (YF-22 -prototyyppissä käytettiin samanlaista järjestelmää kuin F-117A -koneessa).
- (k) siiven jättöpintaa on muutettu parempien lento-ominaisuuksien saavuttamiseksi.
- (l) siiven etureunaa on suurennettu ja niihin on asennettu siivekkeet, prototyyppissä siiven etureunaan oli sijoitettu sensoreita.
- (m) siiven kärkiä on leikattu ja integroitu antennille.
- (n) rakenteelliset modifikaatiot moottorissa painon vähentämiseksi.

## F-22A Raptorin asetaulukko [51]

F-22A Raptor					
ase	tyyppi	ohjaus	nopeus	laukaisupaino/ taistelulataus	kantama
AIM-9X Sidewinder	ilmataisteluohjus	infrapuna hakupää	2,5 Mach	85 / 10,15 kg	10 km
AIM-120A AMRAAM	ilmataisteluohjus	inertia	4 Mach	157 / 22 kg	50 km
AIM-120C AMRAAM	ilmataisteluohjus	inertia	4 Mach	161 / 22 kg	64 km
GBU-32 JDAM PGM <sup>1)</sup>	satel. ohj. pommi	inertia ja GPS	-	459 / 428 kg	24 km <sup>2)</sup>
GBU-39 SDB	satel. ohj. pommi	inertia ja GPS	-	113 / 23 kg	64 km

1)Tiedot perustuvat GBU-32 JDAM -pommiin, johon on asennettu Mk 84 -taisteluosa. Kyseiseen pommiin voidaan asentaa myös BLU-109/B -penetraattori, jonka paino on 240 kg.

2) Peruspommista kehitetty myös pidemmän jopa 96 km kantaman JDAM-ER -versio.

## F-35 Lightning II:n asetaulukko [51]

F-35 Lightning II					
ase	tyyppi	ohjaus	nopeus	laukaisupaino/ taistelulataus	kantama
AIM-9X Sidewinder	ilmataisteluohjus	infrapuna hakupää	2,5 Mach	85 / 10,15 kg	10 km
AIM-120C AMRAAM	ilmataisteluohjus	inertia	4 Mach	161 / 22 kg	64 km
GBU-32 JDAM <sup>1)</sup>	satel.ohj. pommi	inertia ja GPS	-	459 / 428 kg	24 km
GBU-38 JDAM <sup>3)</sup>	satel.ohj. pommi	inertia ja GPS	-	230 / 89 kg	28 km
AIM-132 ASRAAM	ilmataisteluohjus	inertia ja infrapuna	3 Mach	87 / 10 kg	20 km
AGM-158 JASSM	risteilyohjus	inertia ja GPS	alisooninen	1023 / 432 kg	+370 km
AGM-154A JSOW <sup>4)</sup>	ohj.pommikasetti	inertia ja GPS	-	484 /	75 km
GBU-24A/B Paveway III	laser ohj. pommi	puol. akt. laser	-	1066 / 454 kg (Mk 83)	20 km
AGM-88 HARM	ilm.-maahan ohj.	pass. tutka, tutk. sät. hakeutuva	2 Mach	360 / 68 kg	80 km
AGM-65E Maverick <sup>5)</sup>	rynnäköohjus	laser	1 Mach	286 / 56 kg	27 km

3)GBU-38 JDAM on asennettu Mk82 -pommirunkoon.

4)AGM-154 JSOW voidaan aseistaa erilaisilla kuormilla. A -versio koostuu 145 BLU-97/B tytärammuksesta. AGM-154C kantaa BLU-11/B tytärammusta, joka on 250 kg:n Mk82 yleispommi. F-35 pystyy operoimaan vain A - ja C -versioilla.

5)F-35:n eri versiot operoivat aseiden eri versioilla. Ilmavoimat käyttää AGM-65A/B -ohjusta, jossa on elektro-optinen ohjautus, laukaisupaino on 208 kg ja taistelulataus 57 kg. E -versiota käyttää Yhdysvaltain rannikkojoukot (USMC). F -versiota käyttää Yhdysvaltain merivoimat. Kyseisessä versiossa on infrapuna ohjautus, laukaisupaino 301,5 kg ja taistelulataus 135 kg.

## Su-27SM - ja Su-35 asetaulukko [51]

Su-27SM ja Su-35					
ase	tyyppi	ohjaus	nopeus	laukaisupaino/ taistelulataus	kantama
R-73E (AA-11 Archer)	ilmataisteluohjus	infrapuna hakupää	2,3 Mach	105 / 7,4 kg	20 km
R-27ET/ -ER (AA-10 Alamo)	ilmataisteluohjus	infrapuna ja tutka	+ 3 Mach	350 / 39 kg	110 km
R-77RVV-AE (AA-12 Adder)	ilmataisteluohjus	inertia	4 Mach	180 / 22 kg	100 km
Kh-29T	rynnäkköase	TV	0,8 Mach	680 / 317 kg	12 km
Kh-29TE	rynnäkköase	TV	0,8 Mach	700 / 317 kg	30 km
Kh-29L	rynnäkköase	puoli akt. laser	0,8 Mach	650 / 317 kg	12 km
Kh-31A (Mod 2)	rynnäkköase	inertia, akt. tutka	3 Mach	700 / 110 kg	100 km
Kh-31P (Mod 2)	rynnäkköase	inertia, pass. tutka, tutkasät. hakeutuva	3 Mach	625 / 87 kg	200 km
Kh-41 (SS-N-22)	risteilyohjus	akt. tutka	- 3Mach	4500 / 320 kg	250 km
Kh-61 (SS-N-26)	risteilyohjus	inertia	2,5 Mach	3000 / 250 kg	300 km
3M54 (SS-N-27) <sup>6)</sup>	risteilyohjus	inertia, akt. tutka	0,8 Mach	1920 / 200 kg	220 km
KAB-500Kr	tunkeumapommi	TV	-	525 / 380 kg (r-aine 195 kg)	9 km
KAB-500L	ohjattava pommi	laser	-	534 / 460 kg (r-aine 200 kg)	9 km
KAB-1500Kr	tunkeumapommi	elektro-optinen	-	1525 / 1170 kg (r-aine 440 kg)	130 km
KAB-1500L	ohjautuva pommi	laser	-	1500 / 1100 kg	20 km
Kh-35U	merimaali-ohjus	inertia, akt. tutka/ip	1 Mach	610 / 145 kg	130 km

6) 3M54 on kolmivaiheinen ohjus, 3M54M1 kaksivaiheinen ohjus, jolla on edellistä pidempi kantama ja taistelulataus, 3M14 on ohjuksen maahyökkäysversio. Tarkempaa tietoa siitä mikä 3M54 -ohjusversio on suunniteltu käytettävän Su-35 -alustassa ei ole.



## MiG-35 asetaulukko [51]

MiG-35					
ase	tyyppi	ohjaus	nopeus	laukaisupaino/ taistelulataus	kantama
R-77RVV-AE (AA-12 Adder)	ilmataisteluohjus	inertia	4 Mach	180 / 22 kg	100 km
R-73E (AA-11 Archer)	ilmataisteluohjus	infrapuna hakupää	2,3 Mach	105 / 7,4 kg	30 km
Kh-31A (Mod 2)	rynnäkköase	inertia, akt. tutka	3 Mach	700 / 110 kg	100 km
Kh-31P (Mod 2)	rynnäkköase	inertia, pass. tutka, tutkasät. hakeutuva	3 Mach	625 / 87 kg	200 km
Kh-35E	rynnäkköase	inertia, akt. tutka	0,9 Mach	610 / 145 kg	130 km
Kh-29T	rynnäkköase	TV	0,8 Mach	680 / 317 kg	12 km
KAB-500Kr	tunkeumapommi	TV	-	525 / 380 kg (r-aine 195 kg)	9 km

## PAK-FA asetaulukko [51]

PAK-FA					
ase	tyyppi	ohjaus	nopeus	laukaisupaino/ taistelulataus	kantama
TRV Kh-59MK	merimaali-ohjus	GPS/GLONASS ja INS, tutkahakupää	+1 Mach	920 / 320 kg	285 km
Kh-31PMK	ilmataisteluohjus	tutkasät. hakeutuva			200 km